

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Aplicação de uma Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban
em um Caso Real Utilizando a Simulação Computacional**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**

Ana Carina Dri Lemos

Florianópolis, agosto de 1999

Dedicatória

Para o Flávio, que sempre acreditou em mim e na realização deste trabalho, pelo incentivo, dedicação nas horas que mais precisei e, principalmente, pelo amor. Um Muito Obrigado hoje não seria suficiente para agradecer, por isso ...

Dedicatória

“A meus Pais, por terem batalhado humildemente às condições que permitiram que hoje eu possa estar colhendo frutos deste esforço, restam duas palavras: Muito Obrigado”.

Agradecimentos

Ao Professor Dr. Dálvio Tubino pela orientação, paciência, amizade e dedicação, fatores fundamentais para a concretização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Paulo Freitas pelo apoio, contribuições e suporte na parte computacional das simulações desta dissertação.

A Eletrofrio S/A pela disponibilização dos dados usados para a simulação do caso real utilizado nesta dissertação.

A Márcia Lode, gerente de informática da Eletrofrio S/A, pelo incentivo, apoio e amizade, que em muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Sr. Mike Novels, Chairmam & Managing Director of The Cimulation Centre, England, por seu apoio ao desenvolvimento das simulações, através da licença de uso temporário do Software Arena[®] System Modelling.

Aos meus colegas Fernando, Túlio, Marcelo, Ana e Juan pela convivência durante o tempo em que estive em Florianópolis e pela oportunidade de tê-los como amigos.

A UFSC pela infraestrutura que suportou este trabalho.

Ao CNPq pelo suporte financeiro através da bolsa de estudos.

RESUMO

O mercado consumidor vem exigindo cada vez mais variedades de produtos que possuam qualidade, confiabilidade e preços adequados. Isto gera um reflexo direto nas linhas de produção das indústrias. Ciclos de vida curtos, modernização, qualidade e baixo custo dos produtos e processos são algumas conseqüências que o mercado globalizado está impondo constantemente as indústrias. Estas empresas estão preocupadas em melhorar ou manter sua produtividade e qualidade. Por esta razão, as filosofias de manufatura e administração têm sido estudadas, principalmente a Filosofia *Just-in-Time (JIT)*.

A filosofia *Just-in-Time* é formada por duas premissas básicas: a melhoria contínua, que implica que o JIT é um processo contínuo, e a eliminação das perdas, que significa minimizar todas as atividades que não agregam valor diretamente ao produto ou serviço para o cliente. Para que estas premissas sejam alcançadas é necessário utilizar uma ferramenta que permita gerenciar o fornecimento de materiais nos postos de trabalho no momento certo. Esta ferramenta é o sistema Kanban para controle da produção.

Com a implementação do JIT as características do sistema produtivo são alteradas, havendo necessidade de se verificar como estas mudanças influenciarão na performance do sistema. Neste momento, a empresa deve elaborar um sistema de avaliação de desempenho industrial para o novo ambiente.

Considerando os aspectos mencionados, define-se como objetivo geral deste trabalho, a aplicação de uma metodologia para ajustar os parâmetros utilizados para o dimensionamento do sistema Kanban, em concordância com os objetivos do JIT em um caso real. Também serão

analisados como estes parâmetros influenciam no comportamento do sistema produtivo. A metodologia proposta fará uso da linguagem de simulação como uma ferramenta de análise.

ABSTRACT

Today, in the competitive markets, manufacturing companies can survive only if they can deliver high-quality and low-cost products to the marketplace. Many manufactures have introduced manufacturing philosophies and techniques, as JIT and Kanban, to improve their productivity and reduce their manufacturing costs.

The JIT Philosophy is formed on two main tenets: continuous improvement and the eliminations of waste. The continuous improvement implies that JIT is an ongoing process, and not something that is implemented once. Elimination of waste means minimizing all activities that do not directly add value to the product and service. The manufactures can reach these tenets implementing manufacturing tools to manage the shop floor. The Kanban system can be used to control the production.

After the JIT Philosophy implementation the production features can change. In this moment, the companies should create a performance measure system to evaluate this new environment.

Taking it into account, the main aim of this work is to apply a methodology for adjusting the parameters of the Kanban system in a real case. The simulation technique was used as analysis tools.

ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Caracterização do Problema	1
1.2	Obejtivos do Trabalho	7
1.3	Estrutura do Trabalho	9
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Filosofia Just-in-Time (JIT)	11
2.1.1	Organização da área de Trabalho	13
2.1.2	Redução dos Tempos de Setup	13
2.1.3	Manufatura Celular	15
2.1.4	Produção Puxada	16
2.1.5	Balanceamento da Produção	17
2.2	Planejamento e Controle da Produção no Ambiente JIT	18
2.3	Fluxo e Controle da Produção Através do Sistema Kanban	20
2.4	Cálculo do Número de Cartões <i>Kanban</i>	24
2.5	Sistema de Avaliação Operacional	31
2.6	Simulação Computacional	37
3.	METODOLOGIA PROPOSTA	42
3.1	Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban	42
3.2	Caracterização da Empresa	47

3.3	Caracterização do modelo do sistema de produção da seção funilaria e soldagem	48
3.4	Descrição do Modelo Computacional	50
3.5	Interface de dados	55
3.6	Simulação do Modelo Computacional	56
4.	RESULTADOS	60
4.1	Descrição dos Parâmetros do Sistema Produtivo	60
4.2	Aplicação da Metodologia à Empresa com as Condições Reais de Operação	61
4.2.1	Análise das Medidas de Desempenho da Situação Real do Setor de Funilaria e Soldagem	63
4.2.2	Escolha da Faixa de Operação do Sistema Kanban	69
4.3	Aplicação da Metodologia à Empresa com Redução do Tempo de Setup	71
4.3.1	Análise das Medidas de Desempenho	72
4.3.2	Escolha da Faixa de Operação do Sistema Kanban	77
4.4	Comparação do Desempenho da Empresa para os Cenários 1 e 2	79
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	82
5.1	Considerações Finais sobre os Resultados Obtidos	83
5.2	Limitações deste Trabalho	85
5.3	Sugestões de Trabalhos Futuros	86
Appendix A.	DADOS DO KANBAN	90

LISTA DE FIGURAS

1.1	Simulação como Experimentação	6
1.2	Estrutura do Trabalho	9
2.1	Lógica Empurrar e Lógica Puxar a Produção	17
2.2	Fluxo de Informação do Controle de Materiais - Sistema de Puxar	21
2.3	Modelos de Cartões Kanban	22
3.1	Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban	44
3.2	Sistema de Produção da Empresa Modelada	49
4.1	Tempos Médios dos Kanbans	65
4.2	Percentual de Kanbans Cheios	67
4.3	Estoque Médio em Processo	68
4.4	Utilização dos Recursos	69
4.5	Ocupação Recurso Gargalo	70
4.6	Tempos Médios dos Kanbans	73
4.7	Percentual Médio de Kanbans Cheios	74
4.8	Estoque Médio em Processo	75
4.9	Ocupação Total dos Recursos	76
4.10	Ocupação Recurso Gargalo	77

LISTA DE TABELAS

3.1	Medidas de Desempenho Utilizadas	46
3.2	Prioridades para Liberação dos Kanbans para Produção	54
3.3	Dados de Entrada e Saída das Interfaces	55
4.4	Número total de Kanbans calculado para cada tamanho de lote e a respectiva quantidade máxima de peças	63
4.5	Número total de Kanbans calculado para cada tamanho de lote e a respectiva quantidade máxima de peças	72
4.6	Comparação entre as Medidas de Desempenho para os Dois Cenários	79

GLOSSÁRIO

JIT - Just-in-Time

MPS - Master Production Schedule

MRP - Material Requirement Planning

MRP II - Manufacturing Resource Planning

OTED - Troca de ferramenta em um único toque

TRF - Troca Rápida de Ferramenta

WIP - Work in Process nnn

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O Capítulo 1 é encarregado de apresentar uma caracterização do problema a ser tratado nessa dissertação, assim como a definição do objetivo geral e dos objetivos específicos propostos e, ao final, uma descrição sucinta da estrutura geral do trabalho.

1.1 Caracterização do Problema

Skinner [1] publicou na *Harvard Business Review* sobre a posição da manufatura dentro do ambiente dos negócios. Ele escreveu:

“A função de manufatura nas companhias, tipicamente, é uma arma de competitividade ou um fardo pesado. Poucas vezes é neutra... Poucos gerentes estão cientes que o que parece ser uma decisão rotineira de manufatura, freqüentemente vem limitar as opções estratégicas das empresas, amarrando isto aos meios, equipamentos, pessoal, controle e políticas básicas para uma postura não competitiva, a qual pode tomar anos para ser revertida.”

O recente progresso e o sentimento que esse sucesso tenha surgido de um sistema de produção mais avançado, mudou a percepção das pessoas sobre a regra e a importância da função de manufatura na empresa industrial. Empresários e pesquisadores, tais como Hayes

and Wheelright [2] , agora consideram a manufatura como uma arma de competitividade no mercado, e recomendam que cada companhia inclua em seus planos estratégicos objetivos específicos para esta área. Manufatura é agora um parceiro em igualdade na tomada de decisões da corporação. O foco na manufatura é a competitividade, a ênfase é na integração e a fábrica do futuro como o significado da realização disto.

Skinner [3] reconheceu esta nova situação:

“Depois de anos de negligência, a atenção da alta direção foi capturada ... a ação na manufatura tem sido extraordinária nestes últimos cinco anos.”

Manufatura é portanto vista como uma nova arma de competitividade, e como consequência disso, empresas industriais encontram-se num ambiente totalmente alterado. Esta mudança não está restrita à uma empresa e a evidência disso pode ser vista em uma variedade de empresas, tal como a indústria automotiva, produtos para consumidores, eletrônicos, eletrodomésticos, etc. A gerência confrontada com rápidas mudanças deve planejar novas estratégias para tratar com a competitividade natural desses novos ambientes. A velha estratégia de produção em massa, derivada de noções de economia de escala, vista não muito longe como válida, começa a ser descartada em favor da estratégia que possibilite a flexibilidade, redução do tempo de desenvolvimento do produto, redução do tempo de mercado para novos produtos e a redução do tempo de compra do cliente para produtos existentes.

Algumas importantes características deste novo ambiente são:

- I aumento da diversidade de produtos;
- I ciclo de vida dos produtos extremamente reduzido;
- I aumento do conhecimento e entendimento do impacto ambiental dos sistemas de

manufatura e seus produtos;

- | alteração da estrutura do custo padrão;
- | enorme dificuldade na estimação de custos e benefícios da integração tecnológica;
- | mudança da expectativa social.

Isso tudo implica profundamente na maneira pela qual os processos de manufatura são organizados e constituem os principais fatores responsáveis pela modernização tecnológica da indústria. No lado da produção, isso é traduzido em uma necessidade para administração encontrar continuamente maneiras para melhorar o desempenho da qualidade da produção, enquanto busca reduzir as perdas excessivas no sistema. Baseado nisso, as organizações procuram aperfeiçoar seus sistemas de manufatura, incorporando modernas tecnologias de produção e, também, fazendo uma reengenharia nos sistemas de administração e controle a nível de chão-de-fábrica.

Por estas razões, nas últimas décadas, um novo conceito de controle de produção chamado de *Just-In-Time (JIT)*, criado no Japão pela “*Toyota Company*”, tem sido largamente adotado em todo o mundo, principalmente no lado ocidental, a fim de auxiliar a administração a melhorar a produtividade e reduzir os custos de fabricação. A principal idéia do *Just-In-Time* é resumida como a “eliminação sistemática das perdas em todos os estágios da produção ou em todas as estações de trabalho.”

Um componente do *Just-In-Time*, em particular, tem merecido maior destaque, o Sistema *Kanban*. Baseado no sistema de puxar, este sistema é usado para gerenciar estoque de produtos em processo e controlar a produção. O objetivo deste sistema é abastecer todos os processos com informações em tempo real.

O sistema de puxar olha para o processo de produção da perspectiva do produto acabado. Neste sistema o controle de produção considera que suas ordens representam requisições firmes dos clientes. Diferenciando-se do sistema de empurrar, onde o produto é empurrado através do sistema de produção. O processo inicia-se com a liberação da matéria-prima para o primeiro posto de trabalho e é conduzido em direção a sua conclusão final no último posto de trabalho. O mais clássico exemplo de sistema de empurrar é o MRP II (do inglês “Manufacturing Resource Planning”).

O *Kanban*, como toda a ferramenta, apresenta claramente algumas limitações e desvantagens. O *Kanban* é intrinsecamente um sistema para a produção repetitiva, necessita de uma programação nivelada, contenedores padrões, grande cooperação dos fornecedores e uma disciplina muito rígida. Isto poderia ser considerado como inflexível, porque neste caso não pode responder facilmente as alterações irregulares ou inesperadas mudanças de mercado.

Da perspectiva do processo, o *Kanban* enfatiza a tecnologia de processo, tal como produtos baseados na configuração do fluxo de produção, e pode portanto, requerer consideráveis investimentos no desenvolvimento de novos métodos, procedimentos, roteiros, novos equipamentos, etc.

Se bem implementado, existe muitas vantagens para o sistema *Kanban*. A mais importante destas é o aumento de produtividade, redução de estoques e *lead-times*¹ de produção, e em função do projeto do produto e do fluxo do sistema de produção permite a empresa responder as pequenas e previsíveis variações do mercado. O *Kanban* é um sistema simples de controle de fluxo com visível ênfase no controle de estoque, o mais simples de entender. O *Kanban* envolve pouco trabalho administrativo comparado com os

¹Lead-time, esta palavra será usada no decorrer do texto para expressar o tempo de processamento de um produto.

outros sistemas, tal como o módulo de controle de chão-de-fábrica do sistema MRP, e permite determinar prioridades.

Ganhos nas operações são promovidos através da reavaliação do layout, roteiros e ferramentas para um rápido *setup*², e níveis de produção balanceados. Outros benefícios resultam do treinamento da força de trabalho para multitarefas, redução de perdas, alto nível de qualidade, níveis mais baixos de estoque e, conseqüentemente, redução do espaço físico destinado ao armazenamento.

No caso da introdução de uma nova tecnologia de processo, como por exemplo a implantação do *Kanban*, torna-se extremamente útil simular o novo sistema de produção e os procedimentos de controle antes da implementação. Sem dúvida, a dinâmica dos sistemas de produção, face a estas exigências, é extremamente complexa e de difícil tratamento analítico. Além disso, cada sistema de manufatura apresenta uma arquitetura única, decorrente de habilidades específicas e da forma como estão integradas. Isso pode ser conseguido através da utilização de um modelo de simulação que permita um amplo conjunto de testes sobre os parâmetros e regras de operação do sistema [4].

A simulação envolve a experimentação de um modelo computacional que representa um sistema qualquer. O modelo é usado como um veículo para a experimentação, muitas vezes em um processo de tentativas e erros para demonstrar os efeitos das várias alternativas. Portanto, aquela que produzir o melhor resultado no modelo possivelmente será a alternativa mais indicada para ser implementada em um sistema real. A Figura 1.1 mostra a idéia básica da simulação como experimentação.

Às vezes estes experimentos podem ser muito sofisticados, envolvendo o uso de técnicas estatísticas, ou em outro extremo, podem ser muito simples, tomando a forma

²Setup, esta palavra será usada para designar o tempo de preparação de uma operação.



Figura 1.1. Simulação como Experimentação

de questões do tipo “O que aconteceria se ...?”. Simulações realísticas podem requerer programas computacionais complexos. Atualmente existem linguagens de simulação ou pacotes computacionais disponíveis para facilitar essa tarefa. Conseqüentemente, a produção de resultados úteis em uma simulação pode mostrar-se um surpreendente consumidor de tempo. Entretanto, existem certas vantagens no uso da simulação e esta pode ser a única ferramenta para abordar alguns problemas. Várias possibilidades de simulação são possíveis. Primeiro, possibilita a condução dos experimentos diretamente em um sistema real. Segundo, o analista pode recorrer a conhecimentos prévios do sistema e construir um modelo matemático para a sua representação. Terceiro é possível a utilização de pacotes computacionais de simulação de processo para avaliar o sistema.

Então porque simular, quando isto consome tempo e podem existir outras alternativas? Considerando a simulação versus um experimento real, pode-se estabelecer as seguintes vantagens:

- I **Custos:** a simulação consome tempo e necessita de pessoal especializado, mas experimentos reais podem tornar-se caros, pois corre-se o risco de cometer-se erros.
- I **Tempo:** admite-se que a concepção de programas computacionais para simulação

de condições reais envolvem uma grande quantidade de tempo, mas uma vez desenvolvidos, tornam-se uma ferramenta atrativa, possibilitando simular semanas, meses ou mesmo anos em pouco tempo de computador. Portanto, um conjunto de alternativas pode ser simulada e avaliada em pequeno espaço de tempo.

- I **Replicações:** infelizmente o mundo real não permite a execução de replicações precisas de um experimento, contudo, simulações são precisamente replicáveis.
- I **Seguro:** um dos grandes objetivos do estudo da simulação pode ser estimular efeitos de condições extremas, e fazer isto em um sistema real será, com certeza, perigoso ou até mesmo ilegal.

Considerando que o analista e o cliente tenham acordado quais os problemas específicos que devem ser analisados, então o analista pode decidir se a condição escolhida é possível de ser simulada. Certamente dois modelos de simulação não serão idênticos mas algumas generalizações poderão ser feitas. Um projeto de simulação pode ser visto como tendo três fases: modelagem, programação e experimentação. Estas fases muitas vezes podem ser difíceis de serem vistas em separado. É difícil programar sem uma adequada modelagem e é impossível experimentar sem um programa executável. Muitas vezes, estas fases vão estar sobrepostas.

1.2 Obejtivos do Trabalho

Considerando os aspectos mencionados, define-se como objetivo geral deste trabalho, a aplicação de uma metodologia para ajustar os parâmetros utilizados para o cálculo do sistema *Kanban*, em concordância com os objetivos do JIT em um caso real. Isso será realizado utilizando uma linguagem de simulação como uma ferramenta de análise.

Esse objetivo geral pode ser subdividido em uma série de objetivos específicos, quais sejam:

- I Estudar as características da aplicação do *Just-In-Time* no sistema de produção, principalmente no que se refere ao sistema *Kanban* no controle de materiais para o chão-de-fábrica no ambiente JIT;
- I Estudar as abordagens desenvolvidas para ajuste do cálculo do sistema *Kanban*;
- I Modelar um sistema *Kanban* baseado em um sistema de produção real, que possibilite a aplicação da metodologia em estudo, utilizando o software ARENA[®], da *System Modelling*[®];
- I Estabelecer medidas de desempenho para que se possa analisar o comportamento desse sistema produtivo;
- I Analisar a importância e a influência da variação do tamanho e número de lotes do *Kanban* e dos tempos de *setup* (tempo de preparação da operação) no ajuste dos *Kanban* e no desempenho geral do sistema produtivo;
- I Fornecer uma ferramenta para que a empresa possa periodicamente reavaliar a capacidade produtiva;
- I Oferecer a oportunidade de experimentar e analisar o modelo do sistema antes de implementá-lo no mundo real.

1.3 Estrutura do Trabalho

Para atingir os objetivos propostos neste capítulo, o trabalho apresenta a seguinte estrutura conforme a Figura 1.2.

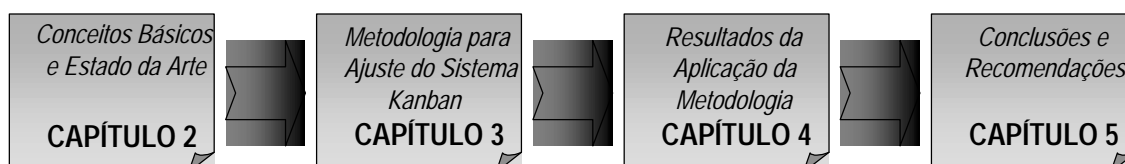


Figura 1.2. Estrutura do Trabalho

O Capítulo 2 é dedicado a revisão bibliográfica, através do levantamento do estado da arte dos diversos assuntos diretamente tratados e relacionados à pesquisa, tais como: Filosofia JIT e *Kanban*, Sistema de Avaliação Operacional e Simulação Computacional como ferramenta de experimentação.

No Terceiro Capítulo será apresentado a metodologia para ajuste do sistema *Kanban* e o sistema de avaliação que será empregado para quantificar o desempenho do modelo simulado. A empresa e os setores onde será aplicada a metodologia serão apresentados, assim como a lógica da simulação proposta.

No Quarto Capítulo serão apresentados os resultados da simulação do sistema produtivo descrito no Capítulo 3. Inicialmente serão analisados as alternativas de desempenho para a situação atual do setor de funilaria e soldagem e seus resultados para as medidas de desempenho comparadas. Em seguida será aplicado a mesma metodologia para uma redução teórica de 70% nos tempos de *setup* e, novamente os resultados para as medidas de desempenho comparadas. Ao final do Quarto Capítulo se chegará à comparação de desempenho do processo produtivo para os dois cenários.

Finalmente, no Capítulo 5, serão apresentados as conclusões, limitações e sugestões para trabalhos futuros decorrentes do desenvolvimento dessa dissertação.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

O objetivo desse capítulo é discutir os principais conceitos, teorias e características da Filosofia Just-in-Time (JIT) e do *Kanban*. Também serão apresentadas as principais pesquisas e aplicações relacionadas ao assunto.

2.1 Filosofia Just-in-Time (JIT)

Nos mercados competitivos de hoje, indústrias sobrevivem somente se conseguirem fornecer produtos acabados com alta qualidade e baixo custo para o mercado consumidor. Com relação a produção, isso representa a necessidade de um gerenciamento contínuo com o objetivo de encontrar novos caminhos para a melhoria da performance da qualidade, ao mesmo tempo que se procura a redução das perdas excessivas no sistema. Nas últimas décadas, um novo conceito de controle de produção chamado “*Just-In-Time Production*” (criado no Japão pela “*Toyota Company*”) foi adotado por várias companhias em todo o mundo para promover o gerenciamento das melhorias na produção.

Existem várias definições para o Filosofia *Just-In-Time*, dentre as quais Schonberger [5] diz que o “conceito *Just-In-Time* pode simplesmente ser descrito como a produção de uma unidade de um produto para ser incorporado no momento certo em um processo

subseqüente”. Em outro momento, Schonberger e Ansari [6] descrevem as idéias do JIT como um sistema para produzir e entregar produtos acabados; peças fabricadas no tempo certo para serem utilizadas em submontagens e materiais comprados no tempo certo para serem transformados em componentes fabricados. Monden [7] , por sua vez, explica o JIT como um processo que produz peças necessárias em quantidades necessárias no tempo necessário. O propósito do JIT é produzir a peça de tal maneira que exista somente uma unidade de estoque em processo e uma quantidade mínima de produtos acabados em estoque.

A filosofia JIT é formada por duas premissas básicas: a melhoria contínua e a eliminação de perdas. A melhoria contínua implica que o JIT é um processo que não para em seu desenvolvimento. A eliminação das perdas significa minimizar todas as atividades que não agregam valor diretamente no produto ou serviço para o cliente. Exemplos de perdas incluem estoque, retrabalho, inspeções, movimentação de materiais e refugo. A eliminação das perdas pode ser feita em todas as áreas da empresa, da engenharia, passando pelo administrativo, ao chão-de-fábrica.

Considerando que o JIT é uma filosofia que visa envolver a empresa como um todo, será relevante para esse trabalho somente os aspectos relacionados diretamente com o sistema de produção.

Para realizar o melhoramento contínuo da produção e a eliminação das perdas na área de produção, o sistema JIT tem como estratégia de produção a redução dos estoques a níveis irrelevantes . Com a redução dos estoques, os efeitos amortizadores são reduzidos. As causas básicas dos problemas são levantadas e soluções preventivas são implementadas para que o sistema de produção flua sem problema. No chão-de-fábrica esta meta pode ser atingida com a utilização de algumas ferramentas JIT.

A eliminação das perdas e a melhoria contínua são os pontos mais importantes para a obtenção de sucesso no JIT. Para que esse sucesso seja alcançado utiliza-se as ferramentas de chão-de-fábrica que dão suporte ao sistema JIT, tais como a organização da área de trabalho, redução dos tempos de *setup*, manufatura celular, produção puxada e nivelamento da produção. Essas ferramentas serão apresentadas a seguir:

2.1.1 Organização da área de Trabalho

De acordo com Gottesman[8] , os projetos para organizar as áreas de trabalho são um excelente candidato para iniciar as melhorias no sistema JIT. O tempo utilizado para procurar ferramentas, utensílios, instruções e peças adicionam surpreendentemente um grande esforço e tempo na execução da tarefa. Mantendo áreas de estoque específicas para as entradas de processo e o material necessário perto do local de uso, as perdas serão reduzidas e os problemas tornar-se-ão imediatamente visíveis.

Em geral, o operador da máquina é a melhor pessoa para identificar melhorias na organização do trabalho, e certamente o envolvimento do operador é crucial nessa etapa.

2.1.2 Redução dos Tempos de Setup

Uma das principais chaves para que a demanda dos produtos seja diária é a busca de alta flexibilidade através da redução dos tempos de *setup* das máquinas. Mínimos tempos de *setup* e esforços resultarão em uma rápida e eficiente troca de produtos e a habilidade de fazer exatamente o que é requerido naquele momento. De acordo com Shingo [9] , a adoção da troca rápida de ferramentas (TRF) ou a troca de ferramentas em um único toque (OTED) é a maneira mais eficaz de reduzir *setup*.

Tipicamente, a redução dos tempos de *setup* pela metade é alcançada simplesmente com o emprego de métodos de organização da área de trabalho nas operações de *setup*. Em “*Just-In-Time Manufacturing Excellence*” [10] , os autores apresentaram um exemplo de redução de *setup* em uma máquina de moldagem. Simplesmente com a organização das ferramentas e procedimentos necessários e pelo pré-planejamento dos *setup*, o tempo de *setup* de 6 horas foi reduzido para vinte minutos. Em “O Projeto da Fábrica com Futuro” [11] , o autor apresenta o resultado do programa de redução de *setup* na empresa JKC, que levou quatro anos para reduzir o tempo de *setup* para abaixo de 100 segundos em 62% dos tempos de *setup*. Para atingir esse nível de redução de *setup* geralmente o processo ocorre em fases. A primeira fase exige pouco investimento e as soluções podem ser realizadas em pouco espaço de tempo, conseguindo reduções de 20 a 30%. A ferramenta utilizada nesse fase é unicamente o videoteipe. A segunda fase envolve análise das operações, pequenas alterações em matrizes, ferramentas, fixadores, máquinas e procedimentos, e algum investimento, obtendo um retorno de 30 a 50% de redução em um tempo relativamente curto. A terceira fase envolve a análise de métodos, mudanças no projeto, padronização de matrizes, ferramentas, fixadores, máquinas e procedimentos, e grandes investimentos de capitais podem ser necessários. A completa conversão para *setup* rápido pode levar anos para ser obtida e a redução dos tempos de *setup* esperada pode ser de 10 a 40%.

Uma pesquisa sobre o desempenho da Indústria Brasileira no ano de 1996, realizada pelo IMAM Treinamento e Consultoria [12] , apresenta que o tempo médio de *setup* de fábrica no Brasil piorou na pesquisa de 1996, se comparado a de 1993. Em 1993, o tempo médio de *setup* era de 30 a 40 minutos e em 1996 passou a ser de 100 minutos, considerando que a média mundial (Europa e EUA) é de 10 minutos e no Japão a média não passa de 5 minutos. Os autores da pesquisa explicam que talvez o aumento do tempo médio de *setup* possa ser

explicado pela mudança do perfil das empresas que participaram da pesquisa, mesmo assim continua existindo uma enorme diferença entre os tempos médios de *setup* no Brasil e os praticados no mundo.

Em seu livro, Shingo [9] apresenta vários exemplos típicos de melhorias obtidas utilizando técnicas de troca rápida de ferramentas, que em média obtém uma redução de cerca de 80 a 95 % nos tempos de *setup*.

Aqui também o operador, ou uma equipe de operadores, é a pessoa mais indicada para implantar melhorias de tempo de *setup*.

2.1.3 Manufatura Celular

A manufatura celular no chão-de-fábrica promove o aumento da qualidade, diminuição de perdas, rápido *throughput* e *feedback*³, aumento da flexibilidade e redução dos níveis de estoque em processo. Manufatura celular é definida como um grupo de processos em ordem para que componentes ou produtos sejam produzidos em um fluxo através do sistema. Em uma célula, processos são fisicamente localizados perto um dos outros, fazendo com que a movimentação de materiais e áreas em estoque sejam minimizadas. Tradicionalmente, máquinas iguais são localizadas juntas em departamentos. A desvantagem do *layout* de chão-de-fábrica tradicional é a criação de barreiras de distâncias e tempo entre operações subsequentes. O aumento da movimentação de materiais, estoque em processo e retrabalho são resultados dessas barreiras porque a detecção do problema e as ações corretivas não acontecem no tempo certo. Removendo essas barreiras entre processos subsequentes, os problemas tornam-se evidentes quando ocorrem, facilitando a pesquisas das causas e soluções para o mesmo. Na manufatura celular, as máquinas são agrupadas por produtos ou família

³Throughput - produção convertido em produtos acabados
Feedback - acompanhamento da produção

de produtos para qual são dedicadas. Reduzindo o estoque em processo entre operações, as perdas e os retrabalhos são também reduzidos. Por exemplo, se um problema de qualidade é descoberto, existirão poucas peças defeituosas em estoque. Segundo Stockton[13], adotando células de manufaturas as empresas podem ter vários benefícios, tais como maior qualidade e redução dos tempos poderão ser obtidos com operadores multi-tarefas, fluxos de materiais mais simplificados e redução do estoque em processo através do uso de Kanbans, maior facilidade de identificação de gargalos, etc.

Um elemento extremamente importante na manufatura celular é a polivalência da mão-de-obra. O ideal é que todo o operador conheça todas as operações da célula, e a célula seja responsável pelo produto do começo ao fim da produção. O operário, sempre que possível, deve ser responsável pela manutenção das máquinas.

2.1.4 Produção Puxada

Uma das regras da filosofia JIT é que nada é produzido até que a necessidade exista. Esta regra representa a base do sistema de produção puxada. A produção puxada ao contrário do sistema convencional de empurrar ou prever a produção, tem por objetivo utilizar de maneira mais racional possível os recursos produtivos disponíveis, de tal forma que o fluxo produtivo, e não as capacidades individuais, seja maximizado. Este tipo de produção prevê que cada elo da cadeia produtiva só deve iniciar a produção de um determinado lote quando houver efetivo consumo desse lote pelo processo subsequente da cadeia produtiva. Sob o ponto de vista interno da empresa, o ponto de partida do ciclo de produção é a expedição. E como ela é o setor mais próximo do mercado consumidor, as variações da demanda são respondidas de forma mais imediata. Em seu artigo Gottesman[8] descreve que na manufatura celular esse sistema pode ser visível no processo, operadores podem

verificar visualmente quando as peças são necessárias, baseados na proximidade do processo subsequente. Em outras áreas sinais para a produção são requeridos. Na Toyota um sistema de cartões de produção, o *Kanban*, é utilizado para solicitar as peças necessárias, sendo que os operadores só tem autorização para produzir as peças quando recebem o cartão *Kanban*.

A Figura 2.1 apresenta de forma esquemática as diferenças entre a lógica de puxar e empurrar a produção.

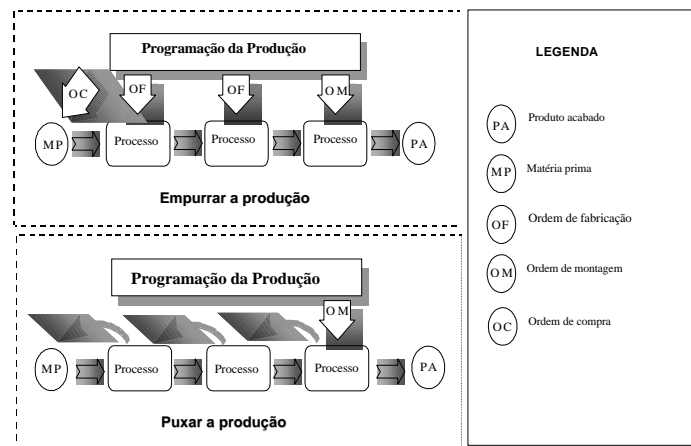


Figura 2.1. Lógica Empurrar e Lógica Puxar a Produção

2.1.5 Balanceamento da Produção

O balanceamento da produção consiste em planejar a produção de pequenos lotes, diferentemente da produção convencional que visa produzir grandes lotes, e variados acompanhando a demanda. O objetivo é flexibilizar a produção e permitir um rápido atendimento ao mercado consumidor com estoques reduzidos.

De acordo com Shingo [9], há três maneiras de balancear quantidades:

- I Padronizar (balancear) processos em uma linha de produção, a partir da capacidade de processamento mais alta.

- | Padronizar processos em uma linha de produção, a partir da capacidade de processamento mais baixa.
- | Equilibrar quantidades de produção no nível necessário para que satisfaçam as exigências determinadas pelos pedidos.

A terceira alternativa é a que melhor identifica a Filosofia JIT, pois permite realizar o balanceamento da produção em lotes baseado nas necessidades do mercado consumidor.

Conforme Shingo[9] e Hay[14], o mais importante benefício de se produzir lotes menores é que o lote pequeno estabelece as bases para um balanceamento entre a produção e a demanda. Há ainda outros benefícios que uma empresa pode esperar, tais como o aperfeiçoamento através da curva de aprendizagem, aumento da flexibilidade do mix de produtos, redução de estoques, menor tempo de supervisão e melhoria da qualidade.

Com a produção balanceada, a única informação necessária para programação da produção é o programa de montagem final, que pode ser flexibilizado de acordo com a demanda atual do mercado. O chão-de-fábrica trabalharia com o sistema de produção puxada baseada na demanda do produto final.

Segundo Hay[14], entre os componentes para eliminação do desperdício, atividades que não agregam valor, mais importantes para o JIT é o conceito de balanceamento, sincronização e fluxo. A Filosofia do JIT estabelece que o balanceamento é necessário para o fluxo e que é de vital importância, mais até que a velocidade.

2.2 Planejamento e Controle da Produção no Ambiente JIT

De acordo com Antunes et al [15], em um sistema tradicional de produção o princípio fundamental é maximizar a utilização dos meios de produção, concentrando esforços na

minimização da ociosidade desses meios. Em função dessas condições, a operacionalização da filosofia tradicional consiste em “empurrar” a produção, dimensionando o planejamento da produção através das previsões de vendas. Desta maneira a empresa está sujeita a fabricação de produtos desnecessários para diminuir os custos associados às incertezas das previsões de vendas, com conseqüente aumento dos estoques.

Considerando a grande complexidade dos sistemas produtivos e a necessidade do fornecimento de informações precisas, cria-se então a necessidade da utilização de programas computacionais de programação e planejamento da produção para o fornecimento desses dados, tais como o MRP (do inglês, “*Material Requeriment Planning*”) ou MRPII (do inglês, “*Manufacturing Resource Planning*”).

Na filosofia *Just-In-Time*, em relação a produção, o princípio básico é “procurar atender dinâmica e instantaneamente a variação da demanda do mercado consumidor, produzindo em pequenos e variados lotes” [15]. Em função disso, é necessário utilizar uma ferramenta que permita gerenciar o fornecimento de materiais nos postos de trabalho no momento necessário, constituindo-se assim o sistema *Kanban* para controle da produção.

Segundo Monden [18], Gianese [19] e Browne et al [20] o planejamento da produção no ambiente JIT envolve duas fases distintas: a programação mensal, que adapta as alterações da demanda mensal durante o ano, e a programação diária, que adapta as variações da demanda diária durante o mês.

Na adaptação mensal é desenvolvido um processo de planejamento de produção mensal, isto é, a preparação de um programa mestre de produção MPS (do inglês, *Master Production Scheduling*), normalmente para um horizonte de 3 meses. Esse MPS representa o nível médio de produção diário de cada processo baseado em uma previsão de demanda mensal. Então, um mix de produtos e suas respectivas quantidades são sugeridas para

2 meses à frente e um plano detalhado é fixado para o próximo mês. Esta informação é transmitida também para os fornecedores para que esses possam atender facilmente as ordens de suprimento. Diariamente, a adaptação é realizada através do sistema de “puxar” a produção, como por exemplo com a utilização do sistema *Kanban*, que será descrito no próximo item.

2.3 Fluxo e Controle da Produção Através do Sistema Kanban

Com a definição do programa mensal da produção baseado na demanda prevista, realiza-se a adaptação da programação diária da demanda dos produtos usando um sistema de puxar seqüencialmente a produção. O sistema que executa essa tarefa no chão-de-fábrica é conhecido como *Kanban* e os cartões utilizados no sistema também são chamados de *Kanban*. O sistema *Kanban* tem sido descrito como um sistema de puxar.

O *Kanban* foi desenvolvido como um programa para balancear o fluxo de produtos através do processo produtivo, com o objetivo de melhorar o sistema de produtividade e assegurar o envolvimento e participação dos operadores no processo para alcançar uma alta produtividade. Acima do *Kanban*, somente a montagem final ou expedição conhecem as necessidades dos produtos acabados e, com essa informação, controla o que é produzido em todo o sistema de produção usando o procedimento descrito a seguir.

A montagem final, tendo recebido a programação, procede a retirada dos componentes necessários, no tempo e nas quantidades requeridas, do centro de trabalho precedente (processo de submontagem). Estes centros de trabalho produzem em lotes suficientes para repor os lotes que foram removidos. Entretanto, para fazer isto, eles também têm que retirar

componentes necessários dos processos ou centros de trabalho precedentes nas quantidades necessárias.

Assim, a reação em cadeia de troca de *Kanban* é iniciada no sentido inverso da sequência de processamento, com os centros de trabalho retirando somente os componentes que são requeridos no tempo correto e nas quantidades necessárias. A lógica do *Kanban* está representada esquematicamente na Figura 2.2.

Sob essa ótica, uma mudança nos planos de produção em função da variação da demanda só precisa ser indicada no final da linha de montagem, e através do sistema *Kanban* a informação será conduzida para o restante do processo produtivo.

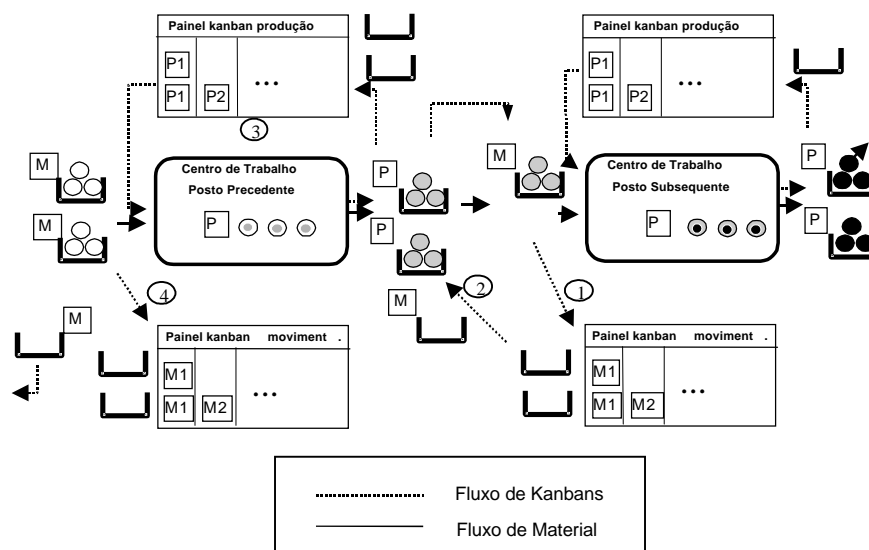


Figura 2.2. Fluxo de Informação do Controle de Materiais - Sistema de Puxar

Dessa maneira, o fluxo de todos os materiais está sincronizado para a taxa em que o material é usado na montagem final ou expedição. A quantidade de estoque será muito pequena se um modelo regular de programação existir e se as entregas forem feitas em pequenas quantidades.

O sistema *Just-In-Time* pode ser realizado sem o uso de ordens de produção para controlar os componentes em cada centro de trabalho. O *Kanban* servirá como uma ordem

de produção, que administra o processo para que haja a produção dos componentes na hora certa. *Kanban* é geralmente um cartão de papel retangular, mas existem outros tipos de sinais que podem ser utilizados, tais como sinais eletrônicos, luzes, etc..

Existem dois tipos principais de cartões *Kanban* em uso:

- I ***Kanban* de Produção:** esse cartão define a quantidade de um componente específico que o centro de trabalho que produz o item deveria produzir para repor o que foi removido.

- I ***Kanban* de Movimentação:** esse cartão autoriza a movimentação de material pela fábrica, circulando entre o centro de trabalho de produção e o seu posto de armazenagem junto ao centro de trabalho consumidor. Quando os processos são próximo, não há a necessidade de utilização desse cartão, pois o estoque de produto acabado de um processo funciona como estoque de matéria-prima do processo subsequente. Nesse caso é chamado sistema *kanban* de um cartão.

Cada contenedor contém um cartão de produção ou de movimentação. Exemplos de cada tipo de cartão são mostrados na Figura 2.3 (baseado em Monden [18]).

Prateleira Número <i>A61</i>		Processo Precedente	
Item Número <i>P-447</i>		<i>Preparação da Moldura</i>	
Descrição do Item <i>Moldura B</i>		Processo Subsequente	
		<i>Montagem</i>	
Capacidade do Contenedor	Tipo do Contenedor	Número da Emissão	
<i>10</i>	<i>A</i>	<i>3/4</i>	

Kanban de Retirada

Prateleira Número <i>A22</i>		Processo	
Item Número <i>P-447</i>		<i>Preparação da Moldura</i>	
Descrição do Item <i>Madeira</i>			

Kanban de Produção

Figura 2.3. Modelos de Cartões Kanban

Existem outros tipos de cartões diferenciados por cor ou formato, tais como *Kanbans* para subcontratados, emergência ou especial. Entretanto, os dois tipos descritos anteriormente são os tipos básicos usados no sistema *Kanban*.

Normalmente, as empresas implementam o sistema de *Kanban* internamente, expandindo para toda a rede de produção numa fase seguinte. Para operacionalizar o JIT externamente é utilizado o *Kanban* de fornecedor, que possui instruções para o fornecedor entregar o item. É importante que os fornecedores estejam cientes dos procedimentos e motivados para segui-los rigorosamente.

O sistema *Kanban* faz uso de cinco regras para operacionalizar a Filosofia JIT, quais sejam:

1. Um centro de trabalho deve retirar somente os itens necessários de um processo precedente nas quantidades requeridas, e igualmente importante, no tempo requerido.
2. Um centro de trabalho ou processo deve produzir somente os itens que foram removidos pelo centro de trabalho ou processo subsequente.
3. Itens defeituosos nunca devem passar para o processo subsequente.
4. O nível de estoque no sistema de produção é ditado pelo número de *Kanbans* existentes desde que cada *Kanban* represente o conteúdo de um contenedor. O número de *Kanbans* deve ser minimizado. Com a redução do número de *Kanbans* e o tamanho de cada contenedor, o nível de estoques é progressivamente reduzido.
5. O sistema de *Kanban* pode somente ser usado quando existe pequenas flutuações de demanda no final da linha de montagem. Este sistema é relevante para produções

repetitivas e não pode acomodar grandes alterações de demanda.

2.4 Cálculo do Número de Cartões *Kanban*

Conforme Tubino [21] , o *Kanban* visa tornar simples e rápidas as atividades de programação, controle e acompanhamento de sistemas de produção em lotes.

Para a determinação do número de *Kanban*, inicialmente, determina-se o tamanho do lote para cada item, pois é baseado nessa informação que se definirá o número total de cartões que circularão pelo sistema. Dentro da filosofia JIT, e no sistema *Kanban* em particular, a busca pelo lote unitário é contínua. O tamanho do lote normalmente é definido em função de dois fatores: o número de *setup* que pretende-se fazer por dia e o tamanho do contenedor. Quanto maior for o tempo de *setup*, maior será o tamanho do lote necessário para diluir os custos e menor será a sua frequência diária.

Após a definição do tamanho do lote para cada item, pode-se determinar o número de cartões *Kanban* e, conseqüentemente, o número total de lotes no sistema. A determinação do número de cartões *Kanban* para cada item é feita a partir da seguinte fórmula [18] :

$$N = \frac{\mu_D}{Q} * LT_{prod} (1 + S) \quad (2.1)$$

Onde:

N = número de *Kanban* ;

D = demanda média diária;

Q = tamanho do lote por contenedor ou cartão;

LT_{prod} = é o *lead time* máximo de produção para cada item completar o ciclo produtivo;

S = fator de segurança, em percentual do dia (%).

De acordo com Shingo [9] , no Sistema Toyota de Produção, a determinação de N está muito longe de ser tão importante quanto o aperfeiçoamento do sistema de produção para minimizar N . Em outras palavras, Shingo prega que deve-se:

- I Executar a produção em lotes extremamente pequenos e minimizar o tamanho de cada lote através da redução de *setup*.
- I Utilizar essas medidas para reduzir os tempos de atravessamento ao mínimo.
- I Eliminar os estoques mínimos ($I + S$) que são mantidos como segurança contra a instabilidade na produção.

Esse processo tem dois significados. O primeiro, é que ele baseia-se no emprego das medidas acima para reduzir o ponto de pedido e o limite inferior do estoque; e o segundo, baseia-se na redução do número de *Kanban* (N) usando tempos de *setup* menores para baixar o valor absoluto do estoque. Com tempos de *setup* reduzidos é possível responder rapidamente a mudanças. Além disso, um ciclo de produção curto permite que se consiga operar com um mínimo de *Kanban* e responder facilmente a mudança de demanda.

Tipicamente, em um Sistema JIT o MPS é fixado para um mês e o número de *Kanban* em cada centro de trabalho é determinado baseado na média da demanda do período [18] . Quando a demanda mensal se altera, é esperado que o número total de *Kanban* por mês também mude. Mas essa não é a situação encontrada na *Toyota* de acordo com Monden[18] , ele explica que “mesmo que a demanda média diária esperada para o próximo mês seja o dobro do mês corrente, na *Toyota* o número de *Kanban* não será alterado”.

Companhias que usam o sistema JIT, como a *Toyota*, não tem a rotina de ajustar o número de *Kanban* de um mês para outro, pelas seguintes razões: eles tem um grande mercado consumidor e o percentual de variação ocorrido é muito pequeno se comparado

com o total; os operários são treinados em diferentes centros de trabalho para que possam atender a necessidade de algum centro de trabalho gargalo; e um sistema JIT bem implementado permite lidar com problemas do dia-a-dia, bem como com a variação da demanda. Muitas outras empresas também estão usando o sistema *Kanban*, mas não tem as mesmas características que as mencionadas acima. Nessas empresas é, as vezes, essencial ajustar o número de *Kanban*s.

Para que a meta JIT de redução de estoques seja atingida é necessário o ajuste adequado do sistema *Kanban*. Assim, a redução do número de *Kanbans* é importante não apenas pelo que representa, mas também por possibilitar que se produza com estoques reduzidos.

Conforme Danni [22] descreveu, o ajuste adequado do sistema *Kanban* compreende o dimensionamento do tamanho do lote de produção e o número de *Kanbans* circulando pelo sistema produtivo, formando assim, o estoque máximo em cada processo do sistema. Sendo assim, pode-se influir no nível de estoque em cada estágio reduzindo o número de *Kanbans*, com o aumento do tamanho do lote, ou com a diminuição do tamanho do lote de produção e, conseqüentemente, o aumento do número de *Kanbans*.

Para a determinação do número de *Kanbans*, como apresentado anteriormente, utiliza-se a equação 2.1. De acordo com o que foi relatado em vários estudos da bibliografia, essa equação dimensiona o número de *Kanbans* estaticamente, desconsiderando que o *lead time* é dependente do número de *Kanbans* e do tamanho do lote, bem como de um grande número de fatores que influenciam o ponto ótimo de operação do sistema *Kanban*, entre eles a variabilidade dos tempos de processo, da demanda, tempo de *setup*, frequência de parada de máquina e problemas de qualidade com os produtos.

Na prática, o dimensionamento do sistema *Kanban* sofre ainda a influência da relação entre o número de *Kanbans* de produção e movimentação. O número de *Kanbans* de

produção do processo precedente tem que ser suficiente para atender as necessidades do sistema transportador com os *Kanbans* de movimentação do processo subsequente.

Golhar e Stamm [23] reportam através de uma extensa revisão bibliográfica vários estudos realizados analisando a Filosofia JIT, principalmente sobre o sistema *Kanban*. Vários desses estudos foram realizados sobre a determinação do número ótimo de *Kanbans* em um sistema produtivo, a partir da equação 2.1 desenvolvida por Monden, bem como, na determinação dos fatores que influenciam, e da forma como influenciam, no desempenho do sistema *Kanban*. Nesses estudos são empregados diferentes abordagens, sendo que recentemente a simulação tem sido uma das mais utilizadas.

Seguindo essa linha de pesquisa, Rees et al [24] desenvolveram uma metodologia para ajuste dinâmico do número de *Kanbans* para ser aplicada ao chão-de-fábrica. O princípio básico desse estudo está na aplicação da equação 2.1. Através dessa equação, o número de *Kanbans* foi ajustado periodicamente em cada centro de trabalho baseado na previsão da demanda para o próximo período e o *lead-time* do período anterior. Também foram levados em consideração no cálculo dois custos indiretos de operação do *Kanban*: o custo de estocagem e o custo de escassez de matéria-prima. Para teste e desenvolvimento dessa metodologia, foi simulado um sistema de produção hipotético utilizando a linguagem Q-GERT.

Outro estudo para determinação do número de *Kanban* através da simulação, utilizando a linguagem SLAM foi o realizado por Takahashi, Nakamura e Ohashi [25]. O sistema *Kanban* simulado foi o de dois cartões para um sistema de produção serial desbalanceado, sobre condições estocásticas. Através da simulação foram obtidas informações do sistema que foram utilizadas por um algoritmo para a alocação dos *Kanbans* através da procura direta, de forma a otimizar o desempenho do sistema produtivo. Nesse trabalho verificou-se que, assim

como as condições estocásticas dos tempos de produção e transporte do sistema de produção, o desbalanceamento representa um problema para o sistema *Kanban*.

Chuaddhury e Whinston [26] propuseram uma forma de gerenciamento dos estoques. Os autores desenvolveram um mecanismo de controle da produção descentralizado e adaptativo baseado no sistema *Kanban*, para tomada de decisão on-line em um sistema de manufatura flexível. Nesse sistema, a liberação dos estoques foi feita levando-se em conta o nível atual de congestionamento e escassez de matéria prima nos vários pontos do sistema. Este mecanismo foi constituído de “máquinas de aprendizagem estocásticas” denominadas de agentes adaptativos e testado através da simulação do sistema de produção. A implicação desse tipo de algoritmo foi que políticas simples de controle descentralizados em um ambiente complexo podem levar ao comportamento desejado pelo grupo de máquinas. Entretanto, como descrito pelo autor, ainda existem fatores críticos a serem investigados antes que essa forma de controle possa ser implementada na prática com sucesso, sendo o propósito do trabalho estabelecer a viabilidade teórica e experimental dessa técnica adaptativa.

Aytug, Dogan e Bezmez [27] desenvolveram uma metodologia para alocação dos *Kanbans* de forma que a possibilidade de não satisfação da demanda entre os centros de trabalho fossem minimizada, mantendo o ciclo de produção em níveis aceitáveis. A abordagem integrada utilizada, combinou a simulação com as técnicas de análise de regressão. Os resultados da pesquisa sugeriram que o aumento do número de *Kanbans* de um dos produtos finais leva ao aumento do ciclo de produção dos outros produtos também.

Outros resultados interessantes relativos ao sistema *Kanban* nessa mesma linha de pesquisa foram apresentados por Changchit e Kung [28], que concluíram que simplesmente aumentando o número de *Kanbans* (nível de estoque) não se pode resolver os problemas de gargalo. Gupta e Gupta, Huang et al. e Shoer et al. apud Chu e Shih [29] confirmaram

que altas taxas de produção são obtidas quando o tamanho dos estoques (número e tamanho dos *Kanbans*) é ótimo, mas que aumentando meramente o número de *Kanbans* não implica no aumento da taxa de produção. Gupta e Gupta e Huang et al. apud Chu e Shih [29] também mostraram que o aumento na variação do tempo de processo leva a redução da taxa de produção e ao aumento da escassez de matéria prima, com a manutenção dos níveis de estoque. Huang et al., Kimura e Terada e Villeda et al. apud Chu e Shih [29] demonstraram que em sistemas de puxar com variabilidade no estágio final de montagem, o efeito desta variabilidade é transmitido e amplificado para o sistema inteiro, acentuando a necessidade de se reduzir a variabilidade no estágio final do sistema produtivo.

Outra abordagem muito utilizada principalmente para o estudo dos fatores que influenciam a performance da Filosofia JIT e do sistema *Kanban* é a modelagem matemática. Através desta abordagem busca-se desenvolver um modelo matemático que represente o sistema de produção em estudo, sendo empregado para otimizar certos parâmetros de avaliação, como por exemplo, o custo médio de armazenagem do estoque ou a quantidade total produzida por ciclo.

Bard e Golany [30] e também Wang e Wang [31] aplicaram a modelagem matemática para a determinação do número de *Kanbans* de um sistema de produção com múltiplos estágios, através da minimização dos custos de armazenagem, da escassez de material e do tempo de *setup*. O modelo foi formulado através de um programa linear integral misto, sendo resolvido com as técnicas usuais. Os resultados foram comparados com os que seriam obtidos utilizando a equação 2-1.

Li e Co [32] reportam o problema da determinação do número de *Kanbans* em cada estágio da produção. Para tanto desenvolveram uma formulação matemática que descreve

o funcionamento do sistema *Kanban*, tendo como solução do problema a determinação do número ótimo de *Kanbans*. Porém não apresentaram resultados conclusivos no trabalho.

Já Fukukawa e Hong [33] desenvolveram um modelo para a determinação do número de *Kanbans* necessários levando em conta os seguintes fatores: flutuação da demanda durante o horizonte de planejamento, estoque em processo, carga máquina, capacidade de cada processo, capacidade de subcontratados, tamanho do contenedor, tempo ocioso não agendado e horas extras. Para o desenvolvimento do modelo, uma formulação matemática utilizando programação com objetivos múltiplos foi apresentada.

Um dos poucos trabalho da bibliografia a tratar sobre a capacidade do contenedor, foi o desenvolvido por Yanagawa e Miyazaki [34] . O objetivo desse trabalho foi determinar o plano de operação ótimo para o sistema *Kanban* operando com *lead time* variável, através da análise dos resultados de várias simulações de um modelo matemático. O plano de operação ótimo consistiu na determinação da capacidade do contenedor e do número de *Kanbans* que minimizaram o custo total de operação. Os autores consideraram o custo total como sendo constituído do custo do estoque e do custo de movimentação do *Kanban*.

Foram testados vários valores para a capacidade do contenedor, determinando o número de *Kanbans* de forma a satisfazer o nível de segurança em função da demanda e do *lead time* previamente calculado. Como resultado obtiveram um gráfico da quantidade de peças por contenedor versus o custo total. A partir desse gráfico os autores determinaram a capacidade ótima do contenedor, recomendando a utilização de uma capacidade um pouco maior que a estimada em situações práticas.

Já Phillipoom et al. [35] desenvolveram um modelo para a determinação do tamanho do lote apropriado para ser utilizado em conjunto com o *Kanban* de sinalização no chão de fábrica JIT. Como resultado, dois modelos de programação matemática integrais para a

determinação do tamanho do lote do *Kanban* de sinalização foram desenvolvidos. Uma das versões explora uma função objetivo que minimiza o estoque, enquanto que a outra minimiza o custo total. A implicação dos resultados obtidos foi a de ser prudente considerar os custos dos estoques e do *setup* ao invés de simplesmente procurar reduzir o estoque ao nível mínimo na determinação do tamanho do lote de produção.

Entretanto, Aytug et al [27] reportaram que muitas das formulações matemáticas complexas só são praticáveis para pequenas aplicações. Além disto, a utilização de parâmetros determinísticos, para os tempos de processamento e demanda, por exemplo, podem levar a resultados não realísticos gerando soluções sem utilidade na prática. Em contrapartida a simulação supera essas limitações através da inclusão de condições do chão-de-fábrica mais realistas.

Huang et al[36] simularam um sistema de produção com múltiplas linhas e múltiplos estágios de produção em um ambiente JIT/*Kanban*. Esse trabalho teve o intuito de determinar a adaptabilidade desse sistema para um ambiente americano de produção. Esse ambiente pode ter como características a variabilidade dos tempos de processamento e do plano mestre de produção, e o desbalanceamento entre os estágios de produção.

Para complementar o estudo sobre Modelagem de um *Kanban* de produção, cita-se o trabalho realizado por Uszog e Martin-Vega [37]. Neste trabalho aplica-se uma metodologia para ajuste do números de *Kanbans* num ambiente JIT, utilizando a simulação.

2.5 Sistema de Avaliação Operacional

Com a implementação do JIT as características do sistema produtivo são alteradas, criando-se a necessidade de verificar como estas mudanças influenciarão a performance do

sistema. Nesse momento, a empresa deve elaborar um sistema de avaliação de desempenho industrial para o novo ambiente.

De acordo com Tubino e Danni [38] , o objetivo de qualquer sistema de avaliação de performance é aferir, ou seja, mensurar, a empresa de modo a gerenciar sua performance para que determinados objetivos sejam atingidos.

Nos trabalhos de Tubino e Danni [38] e Danni [22] foram propostas várias medidas de avaliação do desempenho operacional para produção em ambiente JIT, baseadas nas diretrizes apresentadas por Lessner na referência [39] . As medidas de desempenho propostas são:

1. Volume de produção (VP): tem como objetivo medir a quantidade de produtos produzidos em um determinado período de tempo. No ambiente JIT, entende-se por volume de produção a quantidade de produtos fabricados e vendidos interna e externamente. O estoque é considerado como um ponto negativo para essa medida, pois geram custos e não agregam valor ao produto. O volume de produção é medido pela seguinte relação:

$$VP = \text{Quantidade produzida} / \text{Quantidade vendida}$$

O valor ideal para essa medida é 1. Se o valor for menor que 1 indica que a empresa não está conseguindo atender a demanda e se o valor for maior que 1 estará gerando estoques desnecessários, piorando assim o seu desempenho.

2. Tempo de passagem (TP): é o período de tempo que um produto ou lote consumiu desde o momento da solicitação à produção até a sua entrega para o cliente. O tempo de passagem pode ser calculado da seguinte maneira:

$$TP = \text{Data da entrega} - \text{Data do pedido}$$

Quanto menor for o tempo de passagem melhor, pois aumentará a capacidade de resposta ao mercado consumidor.

3. Lead-time de produção (LP): é o tempo compreendido entre a solicitação do item e a sua entrega ao supermercado que o solicitou, suprimindo a carência desse item através dos *Kanbans*. Os valores do *lead time* médio indicam a velocidade de resposta dos recursos produtivos ao atendimento da demanda. Quanto menor o *lead time* de produção, mais rápida será a adaptação da produção ao mix da demanda. O *lead time* máximo é utilizado no cálculo das quantidades de *Kanbans* nos supermercados do sistema produtivo. O *lead time* de produção é calculado da mesma forma que o tempo de passagem.

4. Estoque em processo (WIP⁴): uma das principais metas da filosofia JIT é a redução dos estoques em processo. Nos sistemas tradicionais de produção o estoque é considerado como uma peça estratégica do sistema produtivo contra alguma alteração de demanda. O estoque em processo necessário para atender uma determinada demanda relaciona-se de forma direta com a eficiência do sistema produtivo, pois quanto maior o seu nível, maior serão os custos diretos e indiretos agregados ao produto final. A redução do estoque em processo deve ser vista como resultado da melhoria contínua do processo produtivo no ambiente JIT.

5. Percentual de *Kanbans* cheios (KC): é o percentual médio de *Kanbans* fixados a contenedores cheios alocados nos supermercados em relação a quantidade total de *Kanbans* disponíveis no sistema.

$$KC = \text{quantidade de Kanbans cheios} / \text{total de Kanbans no sistema}$$

Como resultado desta relação teremos o percentual dos estoque que estão sendo efetivamente utilizados no processo produtivo e também a quantidade de *Kanbans* vazios esperando para serem produzidos.

6. Taxa de utilização dos centros de trabalho (TUCT): como no JIT só se produz havendo o consumo, essa medida de desempenho avalia o balanceamento dos elos da cadeia

⁴ WIP, do inglês *Work in Process*, significa estoque em processo

produtiva. É também uma forma de avaliar a flexibilidade do sistema produtivo. Para dois sistemas produzindo a mesma quantidade de produtos acabados, o sistema com menor taxa de utilização (em função, por exemplo, de uma maior racionalização da realização dos *setups*) pode absorver melhor um aumento da demanda.

7. Taxa de utilização do recurso gargalo (*TURG*): tem por função, além das mesmas do item acima, indicar o limite mínimo do tamanho do lote para o qual é possível suprir a demanda. Essa medida de desempenho é empregada para a determinação da capacidade desse recurso em absorver uma redução na quantidade de peças por *Kanban*, com conseqüente aumento do número de *setups* efetuados, limitando a redução do tamanho dos lotes.

8. Número de *backorders* (*NB*): essa medida representa o número de pedidos de venda que não foram atendidos em função da escassez de produtos nos estoques. É empregada para indicar a necessidade do aumento do número de *Kanbans* de produção dos centros de trabalho.

9. Taxa de utilização de mão-de-obra (*TUMO*): no ambiente JIT, o operário deve participar não só da produção direta do produto, mas também na manutenção preventiva das máquinas, limpeza e organização da área de trabalho, participar da análise e solução de problemas, etc. Conseqüentemente, seria incorreto medir a produção individual da mão-de-obra, devendo sim analisar quanto de recursos humanos (operadores, ferramenteiros, manutenção, supervisores, etc.) foi utilizado na produção do produto. Dessa maneira, pode-se medir a utilização da mão-de-obra através da seguinte relação:

$$TUMO = \text{horas totais trabalhadas} / \text{produção do período}$$

Na medida em que a equipe produza uma quantidade maior de produtos dentro de um mesmo período, ou que para a mesma demanda seja utilizada uma equipe menor ou um

tempo menor de produção, a taxa de utilização da mão-de-obra elevar-se-á, aumentando a produtividade da mão-de-obra.

10. Taxa de Utilização do espaço físico (TUEF): com a organização do trabalho haverá conseqüentemente uma maior racionalização do espaço físico produtivo. A maneira mais imediata de avaliar o resultado da organização desse espaço é através da seguinte relação:

$$TUEF = \text{espaço físico utilizado} / \text{produção do período}$$

Quanto menor a área utilizada no processo produtivo, maior será a taxa de utilização do mesmo. Deve-se considerar como área produtiva o espaço físico utilizado com o maquinário, armazenagem e as atividades de apoio, como manutenção, programação, etc.

11. Margem de segurança (MS): representa o quanto as vendas podem ser alteradas sem afetar o lucro da empresa. A margem de segurança depende fundamentalmente da flexibilidade dos recursos produtivos quanto ao volume e ao tipo de produtos fabricados. Esta medida resulta na mensuração da flexibilidade econômica da empresa em relação à demanda.

$$MS = \text{volume máximo de produção} / \text{volume mínimo de produção}$$

Este índice deve ser obtido para cada produto ou família de produtos em cada posto de trabalho. Quanto maior for o índice maior a flexibilidade da empresa em absorver as mudanças de demanda.

O conjunto de medidas de desempenho apresentadas acima está direcionado para avaliar o chão-de-fábrica JIT, não devendo-se desconsiderar que cada empresa tem seu próprio sistema de produção e deverá desenvolver o seu modelo de avaliação, levando em conta as suas metas.

Como exemplo desse tipo de estudo pode-se citar o realizado por Savsar et al. [40] . O modelo foi desenvolvido na linguagem SIMAN, sendo utilizado para realizar diferentes experimentos de forma a responder a questões relativas a performance da produção JIT. Os experimentos realizados nesse trabalho buscaram avaliar os efeitos randômicos dos tempos de processo, do número de *Kanbans* entre estações de trabalho, da variabilidade da demanda, do tamanho da linha de produção e de diferentes políticas de administrar o sistema *Kanban*. As medidas de avaliação utilizadas para aferir a performance dos sistemas produtivos foram a taxa de produção, estoque em processo e a taxa de utilização das estações de trabalho. O sistema produtivo modelado era constituído de uma linha de produção operando com o sistema *Kanban*, produzindo somente um tipo de peça. Em todos os experimentos de simulação realizados, o fornecimento de matéria prima no início da linha esseve sempre disponível, enquanto que a demanda de produtos acabados na saída da linha foi fixa ou, variava randomicamente em função do tesse proposto.

Os resultado dos experimentos realizados foram apresentados na forma de gráficos, a partir dos quais o comportamento do sistema produtivo foi analisado. A partir da análise, os autores apresentaram conclusões sobre o comportamento do sistema modelado em relação as variáveis em estudo, que entretanto são de difícil extrapolação para outros sistemas pelo fato da simplicidade do sistema modelado.

Outro autor que propôs um método analítico para avaliar a performance de sistemas de *Kanban* de um cartão foi Mascolo [41] , onde a demanda estava relacionada com um determinado processo. Este trabalho utilizou modelagem matemática como ferramenta de análise.

Farahmand e Heemsbergen [42] desenvolveram um modelo para rastreamento de estoque no chão-de-fábrica para um *Kanban* de produção. A performance do modelo foi

monitorada através do rastreamento do estoque em processo (WIP), ordens de produção completadas, tempo médio no sistema e o “*throughput*” de produção em um ambiente JIT/*Kanban*.

2.6 Simulação Computacional

O termo “*Simulação*” tem sido usado para explicar um grande número de coisas. Usualmente, refere-se a representação de grandes e complexas atividades. Por exemplo, engenheiros constroem simulações de sistemas físicos tais como as rotas de navios. Pilotos de avião são treinados em simuladores de vôo que reproduzem a resposta do avião para as várias ações que o piloto pode ter, e permite o piloto aprender como controlá-lo. Sistemas físicos tais como sistemas de manufatura, bem como sistemas mais abstratos, tais como redes de computadores podem ser simulados em um computador. Todas essas simulações usam um modelo para representar o comportamento do sistema que pode ou não existir e que, geralmente, são muito maiores, caros e complexos que o modelo original. O modelo pode ser físico, como no caso do simulador de vôo, ou pode ser representado apenas como um programa computacional, como no caso das simulações de sistema de manufatura e redes de computadores. Em todos os casos, a idéia é que a simulação é uma realização alternativa que se aproxima do sistema real e o propósito da simulação é o de analisar e entender o comportamento do sistema sob várias ações e decisões alternativas.

Desta maneira, entende-se a simulação como uma ferramenta de análise, podendo ser definida segundo Pedgen et al [43] como “o desenvolvimento de um modelo lógico que reproduz a realidade, a fim de avaliar o comportamento e o desempenho de sistemas sob as mais variadas condições”.

A simulação tem sido usada para analisar uma grande variedade de sistemas. Para avaliação do desempenho dos sistemas de manufatura, a simulação tornou-se a metodologia dominante, e ferramentas especiais de modelagem e programas de simulação tem sido desenvolvidos para esse fim. Outros sistemas que têm sido simulados incluem sistemas de transporte (ferrovias, rodovias, navegação e aviação), sistemas de comunicação e computadores (multi-usuários, multitarefas, redes de computadores e telefonia), sistemas militares (operações militares, logística, pessoal), sistemas agrícolas (colheita, logística), sistema de serviço público (hospitais, farmácias, sistema de saúde pública, despacho de veículos de emergência e policial, gerenciamento de resíduos perigosos e segurança de energia nuclear) e processos empresariais (financeiros e outras transações empresariais) entre outros. Simulação é uma ferramenta que não é específica para uma área em particular, pode ser aplicada a qualquer sistema que possa ser modelado usando conceitos de modelagem.

Alguns dos benefícios do uso da simulação são listados abaixo, segundo Pedgen et al [43] :

- I novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação, etc., podem ser explorados sem provocar distúrbios nos processos em uso;
- I o fator tempo pode ser controlado, isso é, pode ser expandido ou comprimido, permitindo aumentar ou diminuir a velocidade a fim de se estudar um fenômeno;
- I permite a análise de quais variáveis são significativas para o desempenho do sistema e como essas variáveis interagem entre si;
- I gargalos podem ser identificados;

- | um trabalho de simulação pode ser comprovadamente importante para o entendimento de como o sistema realmente funciona;
- | novas situações, onde há pouca informação ou conhecimento a respeito, podem ser manipuladas a fim de se prever eventos futuros, isso é, a simulação é uma poderosa ferramenta para responder questões do tipo “o que acontecerá se...”.

A despeito das várias vantagens da utilização da simulação, deve-se ressaltar algumas restrições ou dificuldades na implantação de um modelo de simulação tais como:

- | a necessidade de treinamento, uma vez que a qualidade da análise depende da qualidade do modelo, e portanto da habilidade do modelador;
- | algumas vezes os resultados da simulação podem ser de difícil interpretação, pois a simulação tenta capturar a aleatoriedade de um sistema real, levando em consideração a dificuldade de identificação se um evento ocorreu devido a aleatoriedade ou a interações de elementos do sistema;
- | e finalmente, as análises feitas através do uso de simuladores podem ser demoradas e caras, podendo até mesmo inviabilizar seu uso.

Todas as simulações são desenvolvidas para determinar o desempenho do sistema baseados em projetos ou ambientes alternativos, com o propósito de ajudar na tomada de decisão. O desenvolvimento de um modelo de simulação é um processo estruturado, onde de acordo com Pedgen et al [43] o modelador do sistema deverá seguir alguns passos que estão listados abaixo:

1. **definição do problema:** definição clara dos objetivos do estudo, isso é, determinar o por quê do estudo e o que é esperado como resultado;

2. **planejamento do projeto:** definição dos recursos a serem utilizados;
3. **definição do sistema:** determinação dos limites e restrições na definição do sistema ou processos;
4. **formulação do modelo conceitual:** desenvolvimento de um modelo preliminar para definição dos componentes, variáveis descritivas, interações e lógicas do sistema;
5. **projeto experimental preliminar:** seleção dos parâmetros e dos níveis a serem utilizados, além da escolha dos fatores a serem investigados, isso é, quais dados devem ser considerados no modelo, em qual forma e extensão;
6. **preparação dos dados de entrada:** identificação e coleta dos dados necessários para a modelagem;
7. **modelagem:** formulação do modelo em uma linguagem de simulação apropriada;
8. **verificação e validação:** confirmação do funcionamento do modelo conforme o que o modelador previu e se os dados de saídas são plausíveis;
9. **projeto final do experimento:** projeta-se o experimento a fim de que se produza as informações desejadas e como cada rodada de simulação irá ser feita;
10. **experimentação:** execução da simulação para gerar os dados necessários e desenvolver a análise de sensibilidade;
11. **análise e interpretação:** produz-se inferências a partir dos dados produzidos pela simulação.

Como leitura complementar ao estudo da ferramenta de simulação pode-se citar o tutorial realizado por Andrew F. Seila [44] , onde ele introduz os conceitos básicos da simulação, especificamente sobre eventos discretos na simulação. Apresenta também razões para o uso da simulação como ferramenta de tomada de decisão. Para concluir esse tutorial o autor faz um levantamento dos softwares de simulação disponíveis no mercado.

Como introdução ao software utilizado nesse trabalho pode-se citar o livro “Introdução a Simulação usando SIMAN” de Pedgen [43] e os artigos publicados por David M. Profozich e David T. Sturrock [45] , por John E. Hammann e Nancy A. Markovitch [46] e Antônio S. Souza et al [47] .

No Capítulo seguinte descreve-se a metodologia a ser aplicada para o ajuste dos parâmetros do sistema *Kanban*, explicando seus passos. O modelo computacional da fábrica JIT para o qual se aplica a metodologia de ajuste do sistema *Kanban* também é apresentado, assim como o processo de modelagem desse.

Capítulo 3

Metodologia Proposta

Nesse Capítulo é apresentada a metodologia para o ajuste do sistema Kanban e o sistema de avaliação que será empregado para quantificar o desempenho do sistema produtivo simulado. A empresa e os setores onde foram aplicados a metodologia são apresentados, bem como a lógica da simulação proposta é descrita.

3.1 Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban

Baseado na revisão bibliográfica realizada no Capítulo anterior, verificou-se que a maioria dos pesquisadores preocuparam-se em estudar o sistema *Kanban* sob o ponto de vista do cálculo do número de *Kanbans* alocados em cada centro de trabalho do sistema produtivo. Este é um dos parâmetros principais utilizados para o ajuste do sistema *Kanban* juntamente com a determinação do tamanho do lote para cada item.

De posse desses parâmetros pode-se aplicar a metodologia para o ajuste do número de *Kanbans* proposta por Danni [22] em sua dissertação de mestrado, a qual será descrita a seguir.

Além do ajuste do sistema *Kanban*, esta metodologia permite, através de seus resultados, analisar o comportamento do sistema de produção em relação à variação das quantidades de peças dos *Kanbans*.

A base principal da metodologia consiste na quantificação do desempenho do sistema produtivo para diferentes tamanhos de lote após terem sido ajustadas as quantidades de *Kanbans*. Estas informações são obtidas através do levantamento de índices, durante a simulação do modelo, que permitirão descobrir qual a faixa de tamanho de lotes para a qual se obtém o melhor desempenho do sistema produtivo, atendendo as metas propostas pela Filosofia JIT.

A metodologia de ajuste do sistema *Kanban* é composta de sete etapas, conforme apresentado na Figura 3.1 e descritas a seguir:

Etapa 1: Consiste na estimativa do tamanho do lote, de preferência que permitam a operação dos recursos produtivos com capacidade ociosa.

Etapa 2: Determina-se o número inicial de *Kanbans* empiricamente, permitindo uma relativa folga na operação do sistema produtivo.

Etapa 3: Chamada de simulação de ajuste, pois é nesta etapa que realiza-se o ajuste do número de *Kanbans*, através de um cálculo iterativo deste valor através da equação 2.1 e seguindo os passos de ajuste das quantidades de *Kanbans*, apresentados na Figura 3.1. Os parâmetros de entrada da equação 2.1 empregados no cálculo do número de *Kanbans* são a demanda, o *lead time* máximo e o coeficiente de segurança. A demanda de *Kanbans* dos itens é calculada baseada no plano mestre de produção. O valor dos *lead time* máximos de produção das peças são estimados a partir da simulação inicial do modelo proposto. O coeficiente de segurança é estipulado em função da precisão da estimativa do *lead time* e da aplicação dos resultados.

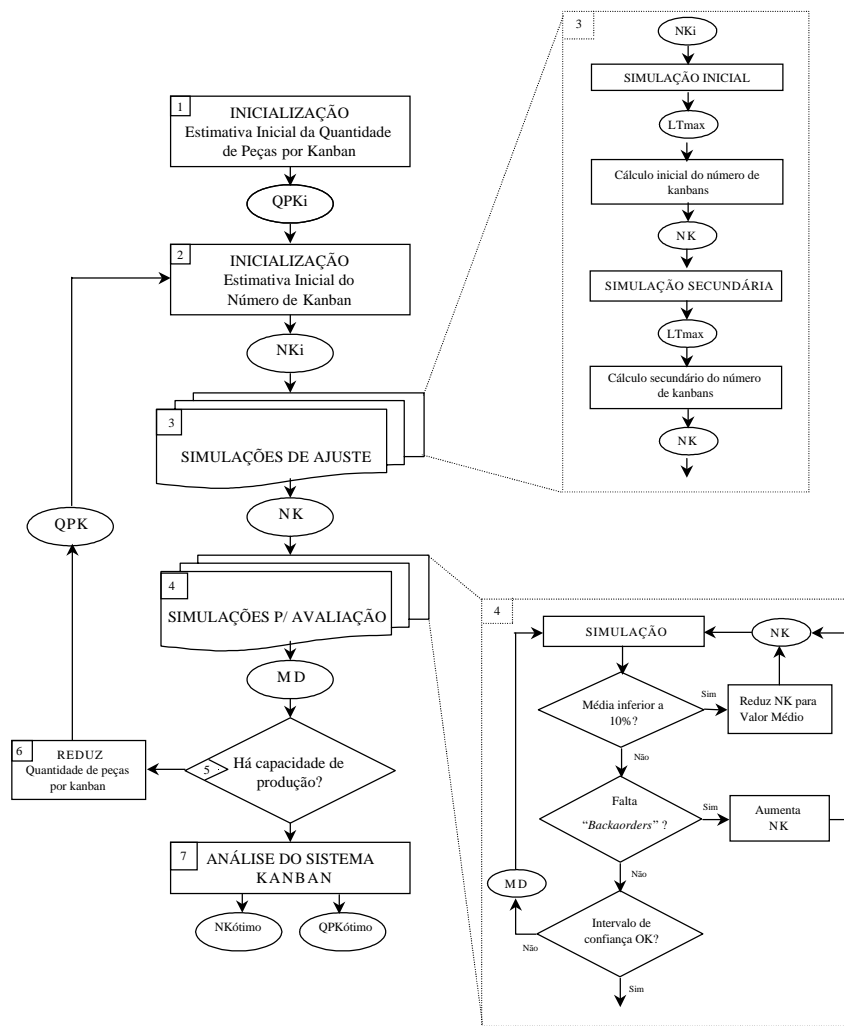


Figura 3.1. Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban

Etapa 4: Chamada de simulação para avaliação, consiste na implementação do resultado do ajuste do número de *Kanbans* no modelo computacional proposto, com o objetivo de coletar dados para avaliar o desempenho do sistema produtivo através de um conjunto de índices, na forma de medidas de desempenho. A medida que as simulações para a avaliação do sistema produtivo vão sendo realizadas, ajusta-se o sistema *Kanban* recalculando o número de *Kanbans*, empregando o procedimento apresentado no passo 4. Caso verifique-se que o número de *Kanbans* calculados seja 10% menor que o número de *Kanban* utilizado no modelo, estas quantidades são alteradas para o valor calculado. Por outro lado, se houver a falta de itens em algum dos supermercados (indicado pela medida

de desempenho *Backorder*) aumenta-se o número de *Kanbans* para aquele item específico. Após a alteração desse parâmetro a etapa de simulação para avaliação é reiniciada com os novos dados. Esta etapa da metodologia é apresentada na Figura 3.1.

Etapa 5: Analisar se há capacidade produtiva disponível nos recursos gargalos baseado nas medidas de avaliação obtidas através da etapa anterior. Caso não sejam encontrados recursos gargalos, existe a possibilidade de se trabalhar com lotes ainda menores.

Etapa 6: Reduzindo o tamanho dos lotes, inicia-se outro ciclo de análise de tamanho do lote, conforme a metodologia já descrita, retornando a etapa de estimativa do número de *Kanbans*.

Etapa 7: Com a redução do tamanho do lote o número de setup aumentará, fazendo com que a ocupação dos recursos seja maior, até o surgimento de um recurso gargalo, o qual limitará a capacidade produtiva. Nesse ponto é interrompido o processo de redução do tamanho do lote e as condições de operação do sistema de produção são avaliadas através das medidas de desempenho para cada tamanho de lote testado. A partir da avaliação conjunta destas medidas, determina-se a melhor alternativa de tamanho de lote e número de *Kanbans* para a qual obtém-se o melhor resultado dentro do ambiente JIT. Após essa etapa encerra-se a metodologia.

De acordo com a metodologia para o ajuste do sistema Kanban proposta por Danni[22] e utilizado nesse trabalho, há necessidade de se definir um conjunto de medidas de desempenho para avaliar a performance do sistema simulado.

Conforme Tubino e Danni [38] o objetivo de qualquer sistema de avaliação de performance é aferir, ou seja, mensurar, a empresa de modo a gerenciar sua performance para que determinados objetivos sejam atingidos.

Baseado no que foi descrito no item 2.3, na tabela 3.1 apresenta-se o conjunto específico de medidas de desempenho que serão utilizadas para a avaliação do sistema produtivo proposto.

Tabela 3.1. Medidas de Desempenho Utilizadas

MD1	<i>lead time</i> de produção
MD2	Tempo Médio de Estocagem nos Supermercados
MD3	Estoque em Processo (WIP)
MD4	Percentual de <i>Kanbans</i> Cheios
MD5	Taxa de Utilização dos Centros de Trabalho
MD6	Taxa de Utilização do Recurso Gargalo
MD7	Número de <i>Backorders</i>

As medidas acima foram escolhidas pois são as que melhor ajudam no levantamento dos fatores críticos das atividades e processos importantes para empresa. Dado ao grande volume de atividades realizadas é difícil determinar as atividades a serem monitoradas. O sistema de avaliação deve ser formulado a partir dos fatores de sucesso, que são resultados da análise da empresa como um todo. Os objetivos da empresa são o ponto de partida para o desenvolvimento do sistema de avaliação. A forma de avaliação influencia o ambiente de produção da empresa, informando quais os objetivos a serem alcançados. O sistema de avaliação irá fornecer, sempre que necessário, informações atualizadas. Baseado nas diretrizes apresentadas acima e nos objetivos apresentados pela Empresa em estudo foi apresentado acima uma série de medidas de desempenho operacional para o sistema JIT implementado. A primeira medida de desempenho escolhida, lead-time de produção, ajudará a verificar a velocidade da empresa em responder as necessidades do mercado consumidor. O tempo médio de estocagem, o estoque em processo e o percentual de kanbans cheios irá ajudar a empresa na minimização dos recursos despendidos com a produção. A taxa de utilização dos centros de trabalho e do recurso gargalo irá informar o desempenho de produtividade e qualidade dos recursos (máquinas). O volume de backorders irá informar

a empresa a quantidade de pedidos que não estão sendo atendidos em função da escassez de componentes. Com esta informação juntamente com os outros índices a empresa poderá tomar decisões operacionais tais como contratar mais mão-de-obra, aumentar a jornada de trabalho, aumento da capacidade produtiva, etc. Apesar do volume de produção ser uma das medidas de desempenho mais empregadas na avaliação de sistemas produtivos, tendo como objetivo medir a quantidade de produtos fabricados num determinado período, nesse trabalho não se utiliza esta medida de desempenho pois, para todas as condições avaliadas, o volume de produção será o mesmo, estabelecido pelo Plano Mestre de Produção. Também não serão analisadas índices tais como a taxa de utilização de mão-de-obra pois de acordo com o ponto de vista da Empresa este não é um fator crítico para o momento, pois existe disponibilidade de mão-de-obra qualificada no mercado.

Descrita a metodologia para ajuste do sistema *Kanban* e as medidas de avaliação empregadas para quantificar o desempenho do sistema produtivo, apresenta-se a seguir o modelo computacional da fábrica JIT através do qual foi realizado o estudo. Além das características do sistema de produção, descreve-se o processo de modelagem e simulação, bem como as questões relativas ao tratamento estatístico inerentes à obtenção de dados através da simulação.

3.2 Caracterização da Empresa

A Empresa escolhida para realização desse trabalho opera no ramo de equipamentos para supermercados, tais como gôndolas, check-out e expositores secos e refrigerados. O levantamento dos dados foi realizado em sua fábrica, localizada em Curitiba, Paraná. A Empresa tem-se caracterizado pela implementação de modernas técnicas de gestão de

produção, como por exemplo a implantação de um software de gestão industrial, juntamente com o sistema *Kanban* em alguns setores da empresa e com fornecedores de matéria-prima.

A Empresa opera com produção sob-encomenda e o enfoque utilizado no lay-out da fábrica é por produto. Em função disso, a fábrica está dividida em 3 mini-fábricas conforme as linhas de produto, que são: gôndolas, *check-out* e expositores. Cada mini-fábrica está dividida em setores baseados no processo de produção, tais como: funilaria, submontagens e montagem final, com exceção da pintura, que atende a todas as linhas.

O abastecimento de componentes é realizado por um único almoxarifado central e o abastecimento de matéria-prima, como por exemplo chapa de aço, é fornecido direto na seção onde o material será consumido através de um sistema *Kanban* com o fornecedor.

Os pedidos de venda são encaminhados para o setor de expedição, que atende a todas as mini-fábricas, a qual solicita o produto acabado de sua respectiva submontagem.

O gerenciamento da produção é realizado através da emissão de ordens de produção para os itens especiais e pelo sistema *Kanban* para os itens padrões.

Para efeito desse trabalho, será realizada a modelagem e aplicação da metodologia apenas para a seção de funilaria e soldagem da mini-fábrica de expositores.

3.3 Caracterização do modelo do sistema de produção da seção funilaria e soldagem

Neste item será apresentado o modelo da seção da fábrica utilizado no estudo. O sistema de produção é dividido em duas seções, funilaria e soldagem, e gerenciado através de um sistema *Kanban*, como pode ser visto na Figura 3.2.

A seção 1 é composta por um estoque de matéria-prima, um estoque de produtos processados, chamado Supermercado 1, onde são estocados os itens *Kanbans* processados

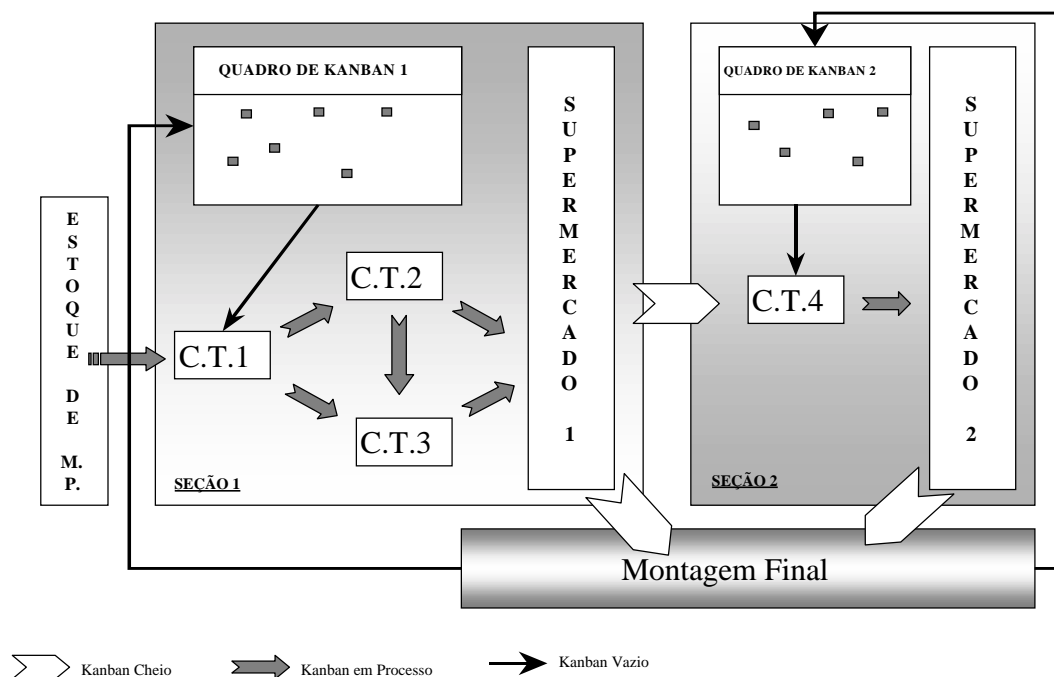


Figura 3.2. Sistema de Produção da Empresa Modelada

por esta seção, e três centros de trabalho (CT1, CT2 e CT3). Para efeito deste trabalho, definiu-se que não haverá falta de matéria-prima nesta seção, pois é abastecido através do sistema de *Kanban* com fornecedor, não havendo a necessidade de ser modelado. O estoque dos produtos processados pela seção 1 são estocados no supermercado 1, o qual abastece a seção 2 e a montagem final.

A seção 2 é composta por um estoque de produtos processados, chamado Supermercado 2, que abastece a montagem final, e um centro de trabalho (CT4).

Cada seção tem um quadro de *Kanban* (quadro 1 e 2) onde são colocados os *Kanbans* com status “vazio”, para que visualmente seja identificada a sua prioridade de processamento, baseada no nível de segurança do estoque definido para o item, antes de serem encaminhados para a produção. O cartão *Kanban* pode ser vermelho, amarelo ou verde, conforme a sua urgência. As cores significam “urgente”, “ponto de pedido” e “normal”,

respectivamente. Durante o processo de simulação o *Kanban* pode assumir também o status de *Kanban* “em processo” e “cheio”.

O *Kanban*, juntamente com sua matéria-prima ou produto processado, é encaminhado para o seu respectivo centro de trabalho para ser processado, de acordo com o roteiro de produção do item, até o seu ponto de estocagem. Cada centro de trabalho tem uma capacidade de produção diferente que são, respectivamente 2, 5, 3 e 4 produtos/hora. A montagem final do produto é realizada de acordo com as ordens de produção emitidas. O sistema *Kanban* controla 40 itens que são processados, seguindo o seu respectivo roteiro de produção, e estocados em supermercados diferentes.

3.4 Descrição do Modelo Computacional

Neste item será apresentado o modelo computacional desenvolvido para ser utilizado no estudo, explicando o processo através do qual foi realizada a simulação e as premissas inerentes ao processo de simulação. O modelo de simulação foi desenvolvido com a utilização do Software Arena. Este software utiliza a linguagem de programação SIMAN e templates do Arena. O estudo foi executado em duas fases. A primeira (na qual foram utilizados dados hipotéticos) tinha carácter exploratório. Os objetivos principais desta fase eram validar o modelo e identificar as principais características do sistema, com o objetivo de determinar as variáveis e, desenvolver regras de controle que fossem apropriadas às características da empresa em estudo. A segunda fase consistiu de um conjunto planejado de experimentos, com dados reais obtidos através de uma extensa coleta de dados, com o objetivo de gerar informações que pudessem gerar um conjunto mais geral de conclusões a respeito deste estudo. Para analisar este conjunto de informações obtidas sobre o sistema de produção da empresa foi desenvolvido um sistema de avaliação de desempenho em conjunto

com a Empresa que ajudará a cruzar os dados obtidos com os objetivos operacionais da Empresa.

Como descrito no Capítulo 2 o sistema de produção JIT o momento inicial do processo produtivo é o consumo dos produtos pelo mercado interno ou externo. Isto é, o mercado consumidor puxa a produção. Para gerenciar a produção puxada utiliza-se o sistema kanban.

A lógica de gerenciamento de produção contém características adversas ao sistema de empurrar a produção. Em função disto a primeira etapa a ser modelada para simulação do sistema JIT é a Lógica de Produção.

Para modelagem do sistema Kanban é necessário o desenvolvimento de uma lógica que incorpore as características da produção puxada, pois a linguagem e os templates utilizados são genéricos, podendo assim ser usados na modelagem de qualquer sistema.

O processo de simulação é realizado através do estudo do fluxo das entidades através do sistema baseado na utilização de um modelo. Modelo é a representação gráfica dos processos pela qual as entidade se deslocam. Processo é utilizado para indicar uma seqüência de operações ou atividades do sistema. Entidade representa qualquer pessoa ou objeto, real ou imaginário, que se movimenta pelo sistema e, com isso, altera o status deste sistema.

Durante o decorrer desta etapa do trabalho foi utilizada a metodologia de simulação desenvolvida por Pegden et al [43] , descrita no Capítulo 2. Outras metodologias de simulação foram apresentadas e que apresentam a mesma estrutura, apesar de diferirem na organização dos passos do processo.

Na definição do modelo a ser simulado levou-se em consideração os objetivos da filosofia JIT. Desta forma, o modelo apresentou características de sistemas de produção JIT com produção seriada e montagem final sob encomenda.

Para realização do estudo foi proposto um modelo que representasse o setor da empresa a ser estudado formado de quatro centros de trabalho, uma montagem final e dois supermercados, operando através do sistema, conforme pode ser visto na Figura 3.2.

O modelo foi desenvolvido para ser aplicado ao estudo do sistema Kanban, os centros de trabalhos foram modelados de tal maneira que representasse uma máquina ou uma célula de trabalho. Na entrada do processo produtivo existe um supermercado de matéria-prima, considerando que nunca haverá falta de matéria-prima, e dois supermercados no fim dos processos produtivos.

Os centros de trabalho realizam mais de um tipo de operação, cada uma delas contendo um tempo de setup e processamento dependendo do produto a ser processado. Para cada um dos produtos foi estabelecido uma quantidade inicial de kanbans nos supermercados de produtos acabados, o qual foi fornecido pela empresa.

Para facilitar o entendimento e desenvolvimento do modelo dividiu-se o processo de simulação em subsistemas menores que representassem parte da lógica de operação do sistema de produção, as quais foram estudadas e modeladas separadamente. Os subsistemas nos quais o processo produtivo foi dividido são: processo produtivo, supermercado, quadro de *Kanban* e montagem final. Após o entendimento do funcionamento dos subsistemas e da forma como deveriam ser realizadas as simulações, estes foram modelados e validados através da animação e análise dos dados obtidos.

A partir da conclusão desta etapa, os subsistemas foram agrupados para que representassem o modelo do sistema produtivo como um todo. Neste momento foram feitas algumas adaptações nos subsistemas para que operassem em conjunto. A seguir é apresentada uma descrição da lógica dos subsistemas modelados.

1. Lógica do Processo Produtivo: como mencionado na seção anterior, existe o processo produtivo da seção 1 e da seção 2. Todo o cartão *Kanban* “vazio”, quando retirado do quadro de *Kanban*, é enviado para o primeiro centro de trabalho da seção passando seu status para “em processo”. A sequência de produção que o *Kanban* deverá seguir está definida no roteiro de produção do item. O último item da sequência é o supermercado onde o item deverá ser estocado. Neste momento, o status do *Kanban* passa a ser “cheio”. O contenedor com a matéria-prima ou produto processado acompanha sempre o cartão *Kanban* até o momento da estocagem. Quando um item entra no centro de trabalho para ser processado é preciso verificar a necessidade de se executar a operação de setup. Se o item a ser processado for o mesmo que o último item processado não será preciso executar o tempo de setup, passando o item direto para o processamento. Os tempos de setup e processamento foram considerados como variáveis facilitando a identificação no momento em que um item requisita o centro de trabalho para processamento.

2. Lógica do Supermercado: cada um dos 40 itens, gerenciados pelo *Kanban*, tem uma posição pré-definida no supermercado onde é estocado. Toda vez que esvaziar um contenedor de um item na montagem final, através de uma lógica que representa o abastecedor da montagem final, um contenedor deste item é retirado do supermercado e o seu cartão *Kanban*, com status “vazio” é enviado para o quadro de *Kanban*. Caso o cartão *Kanban* “vazio” seja de um item processado na seção 2, será feita a retirada dos componentes necessários do supermercado 1 para abastecer o centro de trabalho 4. A liberação do contenedor é realizada por uma lógica que verifica a existência de cartão *Kanban* “vazio” no quadro de *Kanban* 2. Neste momento o cartão *Kanban* dos componentes retirados do supermercado 1 é enviado para o quadro de *Kanban* 1 com o status “vazio”.

3. Lógica do Quadro de *Kanban* : Cada seção tem um painel (quadro 1 e 2) onde são afixados os cartões *Kanban* “vazio”, enviados dos supermercados para serem repostos. Os cartões *Kanban* são colocados no painel de acordo com sua prioridade. O cartão *Kanban* só é liberado para a produção quando o recurso onde será processado estiver desocupado. A prioridade dos *Kanbans* é apresentada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Prioridades para Liberação dos Kanbans para Produção

Prioridade	Fórmula
Vermelha	$QMK/3 \geq QMK - (QKV + QKP)$ e $(QMK/3) < (QMK/3) \times 2$
Amarela	$(QMK/3) \times 2 \geq QMK - (QKV + QKP)$ e $(QMK/3) \times 2 < QMK$
Verde	$QMK \geq QMK - (QKV - QKP)$

Onde:

QMK = quantidade máxima de kanban no sistema

QKV = quantidade de kanbans vazio no sistema

QKP = quantidade de kanbans em produção

4. Lógica da Montagem Final: No momento em que um pedido de venda chega é emitida uma ordem de montagem para o produto final, onde consta a lista de todos os materiais necessários. Uma lógica, que representa o separador de materiais, verifica a existência do material em estoque. Caso o estoque contenha todos os materiais necessários, a lógica libera todos os itens para que seja realizada a montagem do produto. Se estiver faltando um item, os materiais não são separados até que todos estejam no estoque, neste momento a lógica libera todos os materiais. A ordem de montagem emitida contém um número, e este número será o mesmo dos itens separados. Em função disto, os materiais são separados para ordem de montagem específica, não podendo ser usados em outra ordem de montagem. Para a aplicação da metodologia não foi relevante considerar o tempo gasto na montagem do produto final, já que o modelo contempla apenas um setor da mini-fábrica. Neste caso,

era importante modelar a chegada dos pedidos de venda, para que os itens pudessem ser consumidos.

3.5 Interface de dados

De acordo com a metodologia de ajuste aplicada foi verificada a necessidade de se desenvolver duas interfaces do modelo de simulação com uma planilha. Uma interface permite que os dados de saída possam ser organizados e tratados, de acordo com as medidas de desempenho utilizadas na avaliação das alternativas. A outra interface é utilizada para, após a análise dos resultados, alterar os valores das variáveis para uma nova simulação. Para que não houvesse a necessidade de se alterar o modelo a cada nova simulação foi desenvolvida uma interface para a entrada de dados no modelo em uma planilha de dados.

Na Tabela 3.3 são apresentados os dados de entrada e saída utilizados nas interfaces com o modelo. Estes itens são os parâmetros necessários para a utilização da metodologia de ajuste do sistema *Kanban*.

Tabela 3.3. Dados de Entrada e Saída das Interfaces

Dados de Entrada	Dados de Saída
Quantidade de <i>Kanbans</i> por item	<i>lead time</i> máximo de produção por item
Tamanho dos <i>Kanbans</i> por item	<i>lead time</i> médio de produção por item
Tempo de <i>setup</i> por item	Tempo médio dos <i>Kanbans</i> no supermercado por item
Tempo de processamento por item	Número médio de <i>Kanbans</i> cheios no supermercado por item
	Quantidade de <i>Kanbans</i> consumidos por item durante a simulação
	Quantidade de <i>backorders</i> por item

Com a definição da metodologia do cálculo do número de *Kanban* e com a montagem do modelo computacional para simular o sistema produtivo da fábrica, pode-se passar para o Capítulo 4, onde serão apresentados os resultados e é realizada a análise de desempenho do sistema produtivo proposto.

3.6 Simulação do Modelo Computacional

Após a modelagem e validação dos subsistemas estes foram agrupados formando o modelado sistema produtivo da empresa. Em função das lógicas dos sub-sistemas serem independentes, no momento da montagem do modelo final os subsistemas influenciaram na operação uns dos outros necessitando, assim, a realização de pequenos ajustes.

De posse do modelo validado, a próxima etapa foi a determinação dos parâmetros da execução da simulação, tais como a forma de inicialização da simulação, o tempo da execução da simulação e o número de replicações para que os dados estatísticos obtidos fossem confiáveis.

A abordagem empregada para análise dos resultados de uma simulação depende do sistema modelado ser delimitado ou não-delimitado. O sistema delimitado apresenta condições iniciais fixas e um evento para determinar o fim natural da simulação. Os sistemas não-delimitados não possuem as características mencionadas anteriormente. O sistema modelado se caracteriza por ser um sistema não-delimitado, não existindo assim regras fixas para seleção das condições iniciais e para o tamanho da simulação.

Os sistemas não-delimitados, normalmente passam por uma fase inicial transiente que depende das condições iniciais. Não existe porém um ponto definido em que o comportamento mude de transiente para permanente. Refere-se a uma simulação operando em condições permanentes, quando a fase transiente inicial teve o seu efeito diluído ao ponto que a sua influência seja desprezível. Para análise, normalmente se está interessado no comportamento permanente do sistema.

Como se pretende estimar a performance durante a fase de comportamento permanente, qualquer dado coletado na fase transiente distorcerá os resultados. Quando se analisa

performance do estado permanente, deve-se lidar com as distorções introduzidas pelas condições iniciais. As abordagens mais indicadas para este problema são:

- I Redução do período transiente através da seleção das condições iniciais de operação permanente sejam mais rapidamente atingidas;
- I Eliminação dos dados referentes a este período inicial, evitando assim as distorções causadas pela fase transiente. A forma mais simples e prática é o método de seleção do ponto de truncagem. Adota-se o ponto em que os estoques estão cheios para o início do ponto de coleta de dados.
- I Execução da simulação por um período grande o suficiente de forma que a influência da fase transiente seja minimizada pelos dados coletados durante o período permanente

Para este trabalho a forma de inicialização da simulação foi adotada considerando os itens 1 e 2 descritos acima. No início da simulação, o estoque de produtos acabados estão vazios, porém no estado de operação permanente os estoques estão cheios e a taxa de consumo é da mesma ordem de grandeza da taxa de produção.

Objetivando identificar o tamanho do período transiente foi realizada uma simulação exclusivamente para determinação deste parâmetro. Durante este período o sistema não recebe nenhuma influência externa, isto é, não existe recebimento de ordens de venda durante o período transiente. Isto faz com que o supermercado de peças seja abastecido mais rapidamente..

O segundo parâmetro a ser fixado em uma simulação depende normalmente dos objetivos do analista e do tipo de sistema a ser analisado. Este parâmetro é o tempo de execução. Nos estudos de sistemas de manufatura, normalmente este tempo está relacionado

ao ciclo de produção do sistema real, ao período de inicialização e a geração de dados estatísticos. Em função dos tempos serem probabilísticos, o tempo de execução deve ter um tamanho suficiente de forma que as distribuições de probabilidade não modifiquem os resultados com a execução de mais um período de tempo. Uma das abordagens mais utilizadas para determinar o tamanho de simulação é o aumento sucessivo do tamanho da simulação até que não haja alteração no intervalo de confiança [48] .

O Lead-time de produção é a variável com maior variabilidade e por isso foi empregado como uma das ferramentas utilizadas para escolha do tempo da execução da simulação. Através da inspeção visual do seu comportamento, realizada através do módulo de análise de resultados do Arena, determinou-se o tamanho da simulação necessário para que o sistema estivesse no estado permanente de operação por um período suficiente para renovação das características de operação. A outra ferramenta utilizada para ratificar o tamanho da simulação encontrado foi a experiência em outros projetos de simulação.

A renovação das características de operação em uma simulação é uma ocorrência comum em sistemas estocásticos. consistindo no fato de que após um ciclo, o sistema simulado volta as condições iniciais do ciclo. Após voltar as condições iniciais, o sistema executa outro ciclo, com o comportamento similar ao anterior. Como resultado, tem-se que o aumento do tamanho da simulação equivale a realização de outra replicação.

Com a determinação do tamanho da simulação, existe a necessidade de definir o número de replicações que serão feitas. Em sistemas estocásticos não é possível associar um único valor a um dado critério relativo a uma variável do sistema. Com a realização de várias replicações pode-se desenvolver uma distribuição de probabilidade dos valores que a variável poderá assumir. A definição de quantas replicações será necessário realizar consiste em um elemento crítico de tomada de decisão. Tipicamente, o valor da média das observações é

utilizado como o valor do critério para análise da simulação, sendo determinado o número de replicações em função do intervalo de confiança especificado. Este intervalo define a confiabilidade da estimativa pontual obtida do conjunto dos dados coletados. O intervalo de confiança está relacionado tanto com a variabilidade do sistema produtivo modelado, como a quantidade de dados coletados.

Novamente, utilizou-se a ferramenta de análise do próprio Arena para análise do intervalo de confiança. A variável utilizada para esta análise foi o Lead-time de produção por possuir a maior variabilidade dentre as medidas de desempenho. Para tanto, foram sendo realizadas replicações até o momento em que o intervalo de confiança desejado fosse obtido.

Após a aplicação da metodologia proposta neste capítulo para o ajuste do sistema kanban da empresa em estudo, obteve-se um conjunto de dados que serão descritos e analisados no próximo capítulo, para dois cenários produtivos distintos. A partir da análise dos resultados será realizado o ajuste do sistema kanban de cada cenário e a comparação do desempenho do sistema produtivo nos cenários 1 e 2 operando com o sistema kanban ajustado.

Capítulo 4

RESULTADOS

Neste Capítulo serão apresentados os resultados da simulação do sistema produtivo descrito no Capítulo 3. Inicialmente serão analisados as alternativas de desempenho para a situação atual do setor de funilaria e soldagem e seus resultados para as medidas de desempenho comparadas. Em seguida será aplicado a mesma metodologia para uma redução teórica de 70% nos tempos de *setup* e, novamente os resultados para as medidas de desempenho comparadas. Ao final do Quarto Capítulo se chegará à comparação de desempenho do processo produtivo para os dois cenários.

4.1 Descrição dos Parâmetros do Sistema Produtivo

Visando atingir os objetivos propostos pelo trabalho, a metodologia para ajuste do sistema *Kanban* foi aplicada à dois cenários diferentes. Os dois cenários foram baseados em dados reais fornecidos pela Empresa, diferindo apenas nos tempos de setup utilizados no sistema produtivo. O primeiro cenário representa a realidade da empresa. Enquanto que para o segundo cenário foi proposto uma redução de 70% nos tempos de setup. Este percentual de redução do tempo de setup foi proposto em função de trabalhos práticos realizados, tais como Shingo [9] e Black [11], dentre outros, que foram mencionados no Capítulo 2 e mostram

ser viáveis reduções dessa ordem. Deve-se mencionar também que a demanda dos produtos acabados foram mantidas constantes para os dois cenários.

Na modelagem do sistema *Kanban* foram utilizadas distribuições estatísticas, tal como distribuição normal para os tempos de produção e de setup. A utilização de distribuições visa representar melhor a realidade a ser simulada.

4.2 Aplicação da Metodologia à Empresa com as Condições Reais de Operação

O primeiro cenário de operação analisado foi o da situação atual na Empresa para o Setor de Funilaria e Soldagem. Para esta simulação os dados utilizados foram os fornecidos pela Empresa, tais como: quantidades e tamanho dos *Kanbans* por item, tempos de setup e processamento por item/operação/máquina, tempo de transporte médio entre postos de trabalho e a demanda do produto final. Os dados foram mantidos constantes para este cenário, com exceção dos referentes ao sistema *Kanban*, isto é, quantidade de *Kanbans* e tamanho dos *Kanbans*, que através da aplicação da metodologia de ajuste do sistema *Kanban* poderiam variar.

Seguindo as etapas da metodologia apresentada na Figura 3.1, passos 1 e 2, considerou-se como situação inicial os dados utilizados pela Empresa apresentados no anexo 1.

O próximo passo foi, através da simulação, estimar os valores dos *lead time* para cada um dos 40 itens. A partir dos dados levantados com esta simulação obteve-se os valores das medidas de desempenho desta simulação inicial, a qual chamou-se de “simulação original”.

Após o cálculo das medidas de desempenho da simulação original decidiu-se que o tamanho do lote dos *Kanbans* para cada item seria proporcional para se fabricar um número “*x*” de produtos finais. Para cada tamanho de lote seriam realizadas várias simulações,

seguindo os passos da metodologia proposta, até encontrar a melhor faixa de operação para este cenário. Neste momento seria realizada a análise das medidas de desempenho, com o objetivo de definir a faixa de tamanho de *Kanban* em que o sistema como um todo estivesse mais otimizado. Nunca esquecendo que de acordo com a filosofia JIT o tamanho de lote ideal é o lote unitário.

Baseado nos dados coletados na simulação original, decidiu-se que o primeiro tamanho de lote a ser analisado seria para suprir a demanda de dois dias de produção. Assim, calculou-se, para cada item, a quantidade de peças necessária para atender a demanda deste período.

Definido o tamanho do *Kanban*, calculou-se a quantidade de *Kanbans* para cada item através da equação 2.1. A partir deste instante, aplicou-se a metodologia para o ajuste do número de *Kanbans*. Foram realizadas 5 replicações em cada simulação onde obteve-se o *lead time* máximo de produção para cada item. De posse desse valor, recalculou-se o número de *Kanbans* utilizando-se um coeficiente de segurança na equação 2.1 de 0,4.

Segundo a metodologia de ajuste, caso fosse verificada a necessidade de realizar mais ajustes na quantidade de *Kanbans* por item para este tamanho de lote, retornava-se ao passo número 2 da metodologia, até que não houvessem mais alterações neste parâmetro. Neste momento, realizou-se a análise das medidas de desempenho. Caso fosse verificada a possibilidade de redução do tamanho do lote em função de haver capacidade produtiva disponível no sistema, retornava-se a etapa 1 da metodologia com o novo tamanho de lote.

Desta forma, calculadas as medidas de desempenho do modelo, operando com um tamanho de lote suficiente para a produção de 32 produtos finais, a etapa seguinte consistiu na análise da taxa de ocupação do recurso gargalo. Como a taxa média de ocupação do recurso gargalo foi de 53%, reduziu-se o tamanho do lote para a quantidade necessária de cada item para produzir 16 produtos finais, isto é, a demanda diária de produtos finais, retornando a

etapa 2 de estimativa do número de *Kanbans* por item. Com o retorno a estimativa do número de *Kanbans* por item, completou-se um ciclo da metodologia de avaliação de um tamanho de lote. Este processo repetiu-se até o ponto de máxima ocupação do recurso gargalo (lote para produzir 8 produtos finais). A partir deste ponto o atendimento da demanda estaria comprometido pela falta de capacidade produtiva. O número total de *Kanbans* ajustados pela metodologia em função do seu respectivo tamanho de lote são os apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Número total de *Kanbans* calculado para cada tamanho de lote e a respectiva quantidade máxima de peças

Tamanho do Lote *	Qtd total de <i>Kanbans</i>	Qtd max. de peças
Original	115	20191
32	81	14528
16	80	6748
14	84	6398
12	109	6336
8	327	14448

* Quantidade de produtos finais produzidos com 1 *Kanban*

Através do processo de redução do tamanho do lote calculou-se as medidas de desempenho do modelo estudado operando com as composições de tamanho de lote e quantidade de *Kanbans* apresentadas acima. Estes valores foram então agrupados em gráficos para facilitar a visualização e análise comparativa dos resultados. As medidas de desempenho obtidas neste cenário são apresentadas a seguir.

4.2.1 Análise das Medidas de Desempenho da Situação Real do Setor de Funilaria e Soldagem

Conforme mencionado no Capítulo 3, neste trabalho foi utilizado um conjunto de medidas de desempenho para avaliar o sistema de produção no sentido de verificar qual

a melhor composição de tamanho de lote e número de *Kanbans* que atende a demanda estabelecida pela Empresa.

O conjunto de medidas que foram avaliadas são:

- | **MD1** - *lead time* de Produção
- | **MD2** - Tempo Médio dos *Kanbans* nos Supermercados
- | **MD3** - Estoque em Processo (WIP)
- | **MD4** - Percentual de *Kanbans* Cheios
- | **MD5** - Taxa de Utilização dos Centros de Trabalho
- | **MD6** - Taxa de Utilização do Recurso Gargalo
- | **MD7** - Número de *Backorders*

Na Figura 4.1 é apresentado o gráfico com os valores do *lead time* médio de produção, tempo médio dos *Kanbans* nos supermercados e o *lead time* total das peças processadas pelo sistema produtivo. Considerou-se o *lead time* de produção como sendo o tempo compreendido entre a chegada do cartão *Kanban* vazio no quadro até o momento em que o contenedor é entregue no supermercado de itens processados. Sob este ponto de vista, o *lead time* de produção é composto do tempo de espera do lote para ser produzido, tempo de preparação da máquina para produção do lote (tempo de setup), tempo de processamento do lote e o tempo de transporte entre as máquinas e os supermercados. O tempo médio dos *Kanbans* no supermercado equivale ao tempo entre a chegada do contenedor no supermercado até o momento da sua requisição para consumo. O *lead-time* total é o tempo

que o *Kanban* consome desde o momento em que é afixado no quadro até o momento em que é retirado do supermercado para consumo

Analisando o gráfico apresentado na Figura 4.1 verifica-se que o *lead time* de produção médio varia de acordo com a alteração do tamanho do lote do *Kanban*. O *lead time* de produção na simulação realizada com o tamanho de lote original foi melhor do que o *lead time* aplicando à redução dos lotes. Isto ocorreu porque a Empresa opera com grandes lotes de produção como pode ser visto no Apêndice 1. Sabe-se que a produção em grande lotes exige menos tempo global para troca de ferramentas e matrizes, reduzindo, em consequência disso, as horas-homens totais para o processamento das operações, em situações onde os tempos de setup são altos. O principal motivo que levou a produção em pequenos lotes a não obter um resultado melhor é que apenas o sistema *Kanban* foi aplicado no sistema produtivo, o restante das ferramentas JIT que auxiliam na redução do *lead time* foram descartadas, tais como um *layout* que permita transporte simples e rápido entre processos, polivalência, nivelamento da produção à demanda, redução do setup, entre outros. A chave para que se atinja uma produção em lotes pequenos e com estoques mínimos é a adoção da troca rápida de ferramentas para a redução do setup.

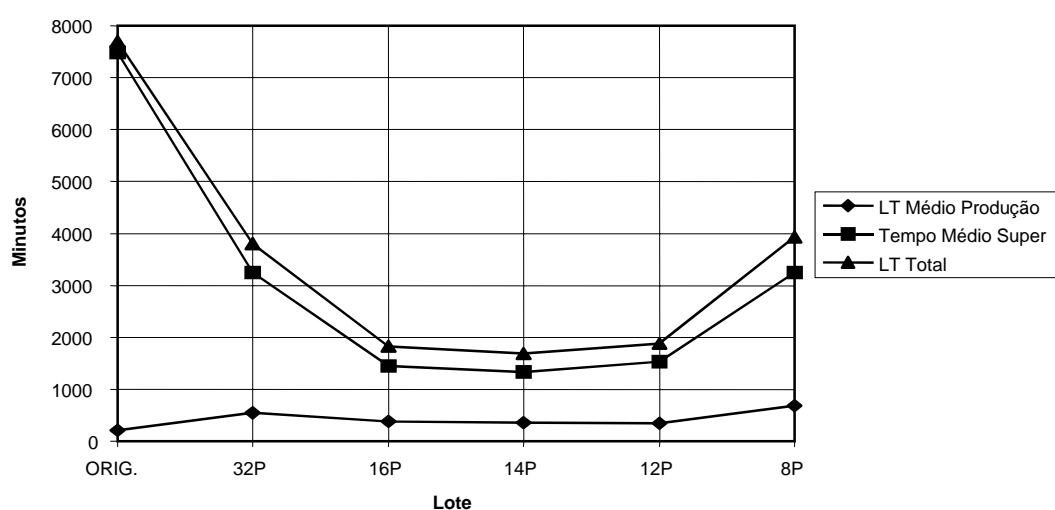


Figura 4.1. Tempos Médios dos Kanbans

Em contrapartida, como pode-se notar na Figura 4.1, em função da Empresa operar com lotes grandes de produção, o tempo que os lotes permanecem estocados nos supermercados é bem superior ao tempo quando aplicada a redução dos lotes de produção. De acordo com Shingo [9], a função processo consiste em processamento, inspeção, transporte e estocagem. Porém, apenas o processamento agrega valor. Deve-se considerar como perda o restante dos itens e eliminá-los sempre que possível. Com a redução dos lotes o tempo médio de estocagem do contenedor no supermercado caiu de 7500 min para 1500 min, uma redução em torno de 80%, aumentando assim, a rotatividade do estoque e diminuindo drasticamente os custos de estocagem, o qual pode ser confirmado nas Figuras 4.2 e 4.3, apresentadas a seguir.

A Figura 4.1 apresenta ainda *lead time* total, ou seja, o tempo médio total que um *Kanban* consome desde o momento em que o cartão é afixado no quadro de *Kanbans* até o momento em que é retirado do supermercado para consumo, isto é, o *lead time* de produção mais o tempo médio de estocagem do *Kanban* nos supermercados.

Considerando-se o *lead time* de produção juntamente com o tempo de estocagem nos supermercados verifica-se que a redução no tempo de estocagem para lotes menores é muito mais relevante para a Empresa, pois obtém uma redução do tempo médio total de um *Kanban* no sistema em torno de 60%, possibilitando uma redução dos custos de estocagem.

Em relação a Medida de Desempenho 3, Estoque em Processo (WIP), pode-se observar através da Figura 4.2, que com a utilização de lotes pequenos o fluxo de materiais é mais rápido, aumentando assim a rotatividade dos estoques. Com pouco material a ser monitorado e com materiais movendo-se constantemente de um posto de trabalho para outro, em pequenas quantidades, a necessidade de controlar os custos dos materiais é menor. Com a implementação de lotes pequenos na produção, o estoque médio em processo passou a ser de

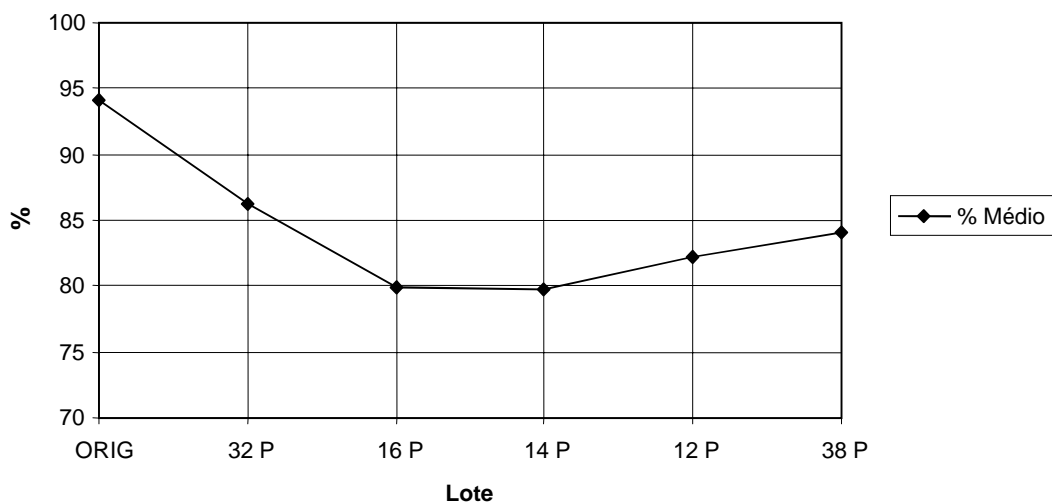


Figura 4.2. Percentual de Kanbans Cheios

140 peças, em vez das 499 peças existentes em média com os lotes utilizados pela Empresa, permitindo uma redução em torno de 70%.

Do total de *Kanbans* circulando no sistema produtivo, uma parte está associada a contenedores vazios (*Kanbans* vazios), esperando o momento para ser produzido ou movimentado. O restante dos *Kanbans* estão afixados aos contenedores contendo peças (*Kanbans* cheios) localizados nos supermercados. Como mostra a Figura 4.3, com a implementação de lotes pequenos começa a aumentar a diferença entre *Kanbans* cheios e vazios, até o momento em que a redução do tamanho dos lotes começa a ser inviável pois será necessário aumentar muito a quantidade de *Kanbans* para que se possa atender a demanda. Mesmo com a redução do tamanho dos lotes pode-se notar que o estoque médio está muito alto e próximo do estoque máximo permitido pelo sistema *Kanban*, fazendo com que o percentual de *Kanbans* cheios no sistema fique em torno de 80%.

Uma outra variável importante a ser estudada é a ocupação dos recursos produtivos. Na modelagem do sistema produtivo real considerou-se que os recursos poderiam estar em dois estados diferentes: ativo e inativo. Sendo que no estado ativo, o recurso pode estar executando *setup* ou processando uma operação. O percentual de ocupação dos centros de

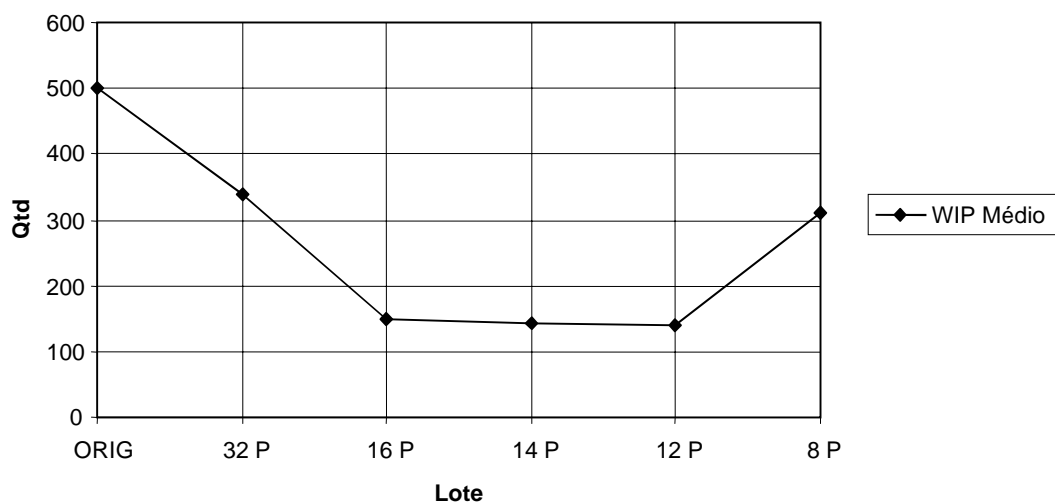


Figura 4.3. Estoque Médio em Processo

trabalhos são apresentados na Figura 4.4. Com a redução do tamanho do lote, o tempo de processamento não se alterou, pois a demanda não foi modificada. O mesmo não aconteceu com o tempo gasto com a execução dos setups. Com a utilização de lotes pequenos, os tipos de peças alternaram-se com maior frequência, fazendo com que se executasse mais vezes o tempo de *setup*, aumentando assim o tempo gasto nesta atividade. Conseqüentemente, o tempo médio de ocupação dos recursos produtivos aumentou com a redução dos lotes.

Na metodologia apresentada no Capítulo 3, o ponto final para a redução do tamanho dos lotes é a saturação da taxa de ocupação do recurso gargalo. A Figura 4.5 apresenta os tempos de *setup*, operação e ocupação total do recurso gargalo. Pode-se notar que com a diminuição dos lotes, o tempo de *setup* aumentou devido ao aumento do número dos setups realizados, levando o recurso gargalo a atingir o seu limite de produção com um tamanho de lote suficiente para produzir 8 produtos finais.

Quando o recurso gargalo atinge o seu limite produtivo, uma redução extra do tamanho do lote faz com que ocorra *Backorders*, persistindo este problema mesmo com o aumento do número de *Kanbans*. Ou seja, pedidos não são atendidos em função da falta de estoque na linha de montagem e que conseqüentemente o plano mestre de produção não seja atingido.

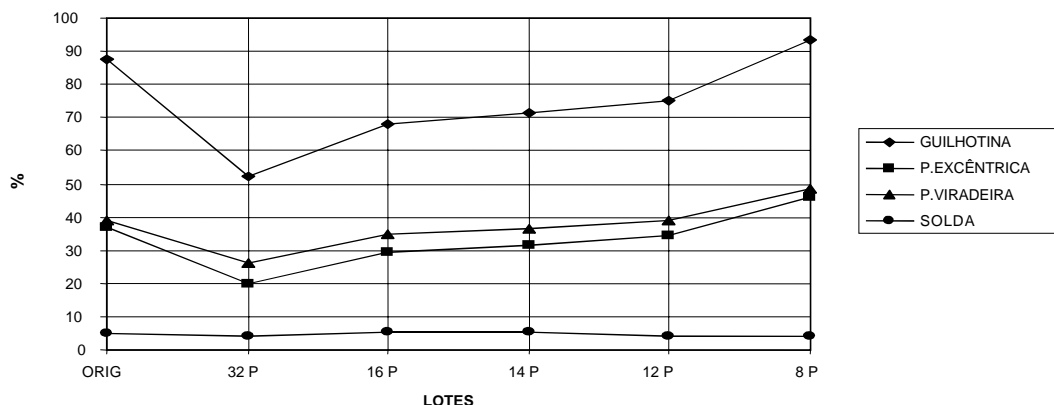


Figura 4.4. Utilização dos Recursos

4.2.2 Escolha da Faixa de Operação do Sistema Kanban

Baseado na análise de desempenho das diferentes composições do sistema *Kanban* pode-se decidir a composição de tamanho de lote e número de *Kanbans* que trará mais benefícios para o sistema de produção da Empresa sob a ótica da filosofia JIT.

Em todas as composições analisadas a meta de atender a demanda do mercado consumidor foi atingida. O objetivo de se aplicar a metodologia de ajuste do sistema *Kanban* neste trabalho é o de dimensionar o tamanho de lote e o número de *Kanbans* que permita atender a demanda com maior flexibilidade e com custos menores para a Empresa.

Analisando os dados obtidos através das simulações, onde os tempos de setups fornecidos pela Empresa são elevados, concluiu-se que se analisarmos somente o *lead time* de produção, o tamanho de lote que obtém o menor índice é o atualmente utilizado pela Empresa, de 212 min, pois em função da pouca rotatividade dos *Kanbans* são executados poucos tempos de *setup*. Em contrapartida, analisou-se o tempo médio de estocagem dos *Kanbans* nos supermercados e pode-se observar que os *Kanbans* utilizados pela Empresa, apesar de terem o menor *lead time* de produção, são os que ficam mais tempo estocados

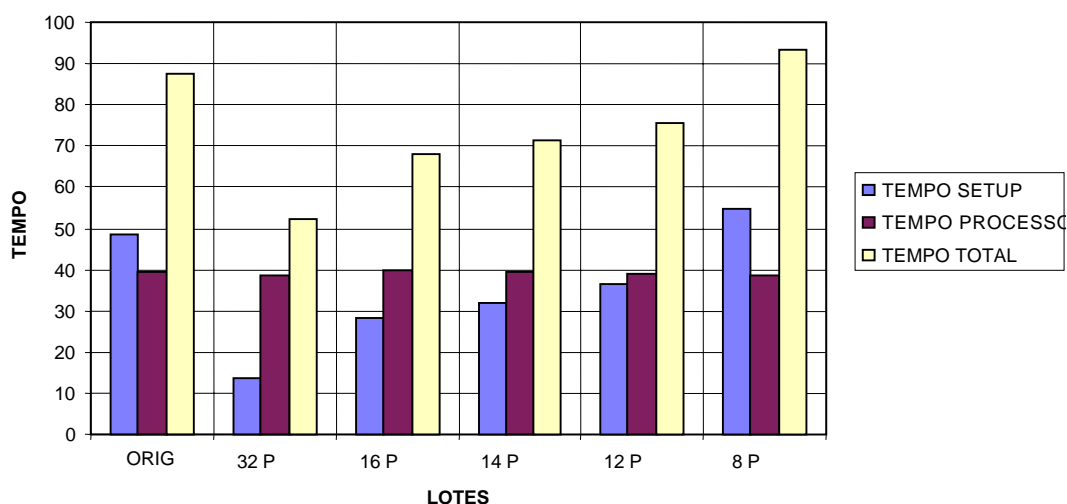


Figura 4.5. Ocupação Recurso Gargalo

no supermercado devido ao tamanho elevado, aumentado assim os custos de estocagem. O tamanho de lote que obteve o menor índice de tempo de estocagem foi o que possibilita a produção de 14 produtos acabados. Analisando juntamente estes dois índices, conclui-se que o tamanho de lote que possibilita o menor tempo do *Kanban* no sistema produtivo, desde o início da produção até o momento do consumo, é o lote para produção de 14 produtos finais.

Em relação ao estoque em processo, o tamanho de lote que obteve a menor quantidade de peças no sistema produtivo foi o lote para produzir 12 produtos acabados, com a média de 140 peças, seguido pelo lote de 14 produtos finais que em média teve somente 3 peças a mais. Com relação a quantidade de *Kanbans* em estoque a melhor alternativa é a utilização de lotes capazes de produzir 14 produtos finais, pois operou com o menor índice de *Kanbans* cheios.

O último ponto analisado foi a taxa de ocupação dos recursos produtivos, em especial a ocupação do recurso gargalo, pois está diretamente ligado a quantidade de tempos de *setup* executados no sistema produtivo. Conforme foi sendo aplicada a redução do tamanho do lote a ocupação dos recursos aumentaram devido ao aumento do número de *setup*. Sob o ponto de vista da filosofia JIT, a empresa deve operar com uma certa margem de ociosidade

nos recursos para que possam absorver eventuais alterações de planos sem interferência no sistema de puxar a produção.

Baseado nos comentários acima, conclui-se que a melhor alternativa de tamanho de lote, após a comparação dos dados obtidos, é a que possibilita a produção de 14 produtos finais, pois apresenta o menor tempo total de estocagem dos *Kanbans* no sistema, a menor quantidade de *Kanbans* cheios e opera com uma certa ociosidade do recurso gargalo.

4.3 Aplicação da Metodologia à Empresa com Redução do Tempo de Setup

Na simulação do cenário 2, isto é, no cenário com redução nos tempos de *setup*, manteve-se todos os parâmetros do cenário 1, com exceção dos tempos de *setup* dos recursos produtivos.

Para poder ilustrar melhor os impactos da implantação de uma segunda ferramenta JIT na Empresa, a Troca Rápida de Ferramenta, juntamente com o Sistema *Kanban*, reduziu-se o tempo de *setup* fornecido pela Empresa em 70%. A definição deste percentual de redução baseou-se em resultados obtidos em algumas implantações desta técnica como mencionado no seção 2.1.1.2.

Após a definição do índice de redução do *setup* aplicou-se a metodologia de ajuste do número de *Kanban* para a obtenção de dados para este novo cenário.

O tamanho de lote inicial utilizado neste cenário foi um contenedor que permitisse a produção de 12 produtos finais. Dando prosseguimento a aplicação da metodologia, foi-se reduzindo sistematicamente o tamanho de lote até que se esgotasse a capacidade produtiva do recurso gargalo, ponto final da metodologia. O tamanho do lote foi reduzido até um lote

que permitisse a produção de 4 produtos finais, pois uma maior redução comprometeria o atendimento da demanda.

Na Tabela 4.5 são apresentadas as composições de tamanho de lote, número total de *Kanbans* utilizados, calculados através do passo 2 da metodologia, e a quantidade máxima de peças no sistema para as quais foram avaliadas as medidas de desempenho.

Tabela 4.5. Número total de *Kanbans* calculado para cada tamanho de lote e a respectiva quantidade máxima de peças

Tamanho do Lote *	Qtd total de <i>Kanbans</i>	Qtd max. de peças
12	81	5448
8	88	3936
7	87	3430
6	102	3126
5	149	5150
4	290	6304

* Quantidade de produtos finais produzidos com 1 *Kanban*

Após a realização das simulações para cada tamanho de lote, os resultados foram tabulados e analisados através de gráficos. A análise das medidas de desempenho resultantes e os respectivos gráficos são apresentados a seguir.

4.3.1 Análise das Medidas de Desempenho

Baseado nos dados levantados, as primeiras medidas de desempenho a serem analisadas neste cenário com os tempos de *setup* reduzidos são as relacionadas com o *lead time*.

Na Figura 4.6 são apresentados os valores do *lead time* médio de produção, tempo médio dos *Kanbans* nos supermercados e o *lead time* total dos itens processados no sistema produtivo.

Como pode-se notar na Figura 4.6, o tamanho do lote foi sendo reduzido até o esgotamento da capacidade produtiva. Verifica-se que a partir de um certo tamanho do lote, o

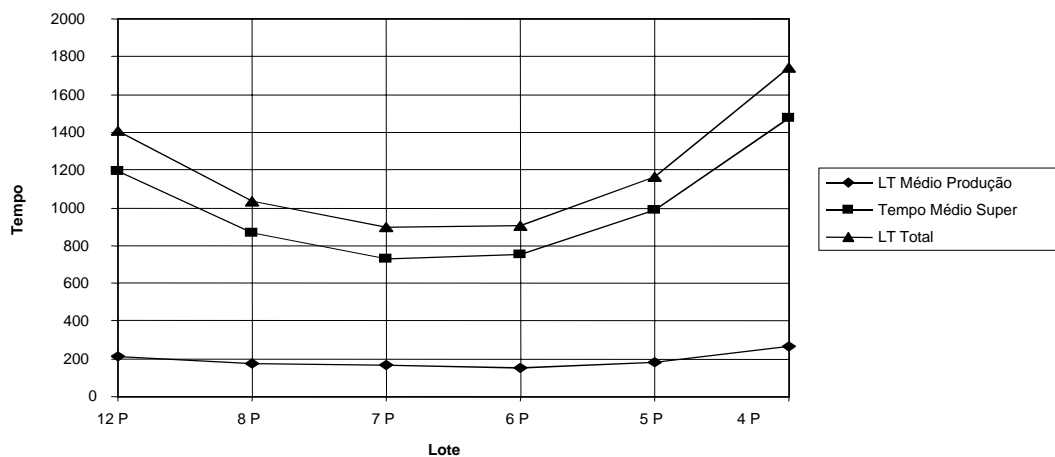


Figura 4.6. Tempos Médios dos Kanbans

tempo de processamento diminui, o tempo de *setup* se mantém constante e o tempo de espera aumenta devido ao grande número de *Kanbans* vazios gerados para atender a demanda, fazendo com que o *lead time* de produção aumente.

Baseado nestas observações pode-se concluir que no processo de dimensionamento do sistema *Kanban* com tempos de *setup* baixo ocorrem duas situações de *lead time* relativas ao tamanho do lote. Ao utilizar lotes pequenos, o *lead time* de produção aumenta a partir de um certo ponto devido ao congestionamento do sistema, e ao utilizar lotes grandes os *lead time* de produção também serão altos em função do tempo de processamento, que é proporcional ao tamanho do lote.

Com relação a medida de desempenho 2, tempo médio de estocagem dos *Kanbans* nos supermercados, verificou-se a mesma tendência do *lead time* de produção. Conforme foi sendo realizada a redução do tamanho do lote, o tempo de estocagem dos *Kanbans* também foi diminuindo até o momento em que esta redução causou um aumento exagerado da quantidade de *Kanbans* no sistema, fazendo com que diminuísse a rotatividade dos *Kanbans* e aumentasse o tempo de estocagem.

Relacionado ao cenário apresentado acima, concluiu-se que para o ambiente proposto para a Empresa com tempos de setup reduzidos, o tamanho de *Kanban* mais adequado seria para um contenedor que permitisse a produção de 7 produtos acabados. Apesar de o *lead time* de produção de 168 minutos não ter sido o menor para este cenário, este foi compensado com uma maior rotatividade dos estoques, tendo como tempo médio dos *Kanbans* nos supermercados 731 minutos. Com isso, este tamanho de lote apresentou o menor tempo médio total dos *Kanbans* no sistema produtivo, que foi de 900 minutos. Ou seja, o tempo médio total que um *Kanban* consome desde o momento em que o cartão é afixado no quadro de *Kanbans* até o momento em que é retirado para consumo nos supermercados.

Os dados referentes as medidas de desempenho 3 e 4, estoque em processo e percentual de *Kanbans* cheios, são apresentados nas Figuras 4.7 e 4.8.

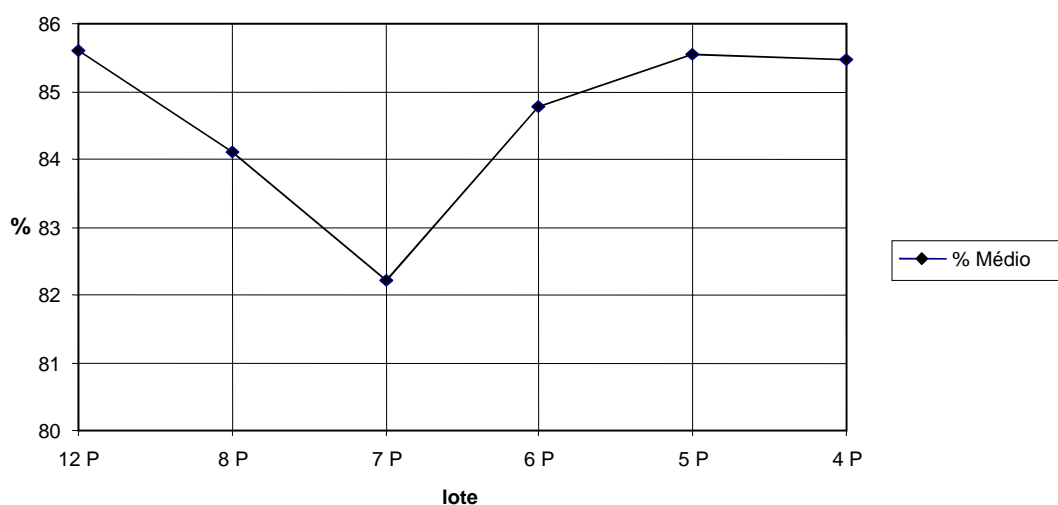


Figura 4.7. Percentual Médio de Kanbans Cheios

Analisando a Figura 4.7, que representa o estoque médio de *Kanbans* cheios no cenário com tempos de *setup* reduzidos, verificou-se que o número de *Kanbans*, aplicando-se a metodologia, variou com a redução do tamanho do lote, alocando uma quantidade maior de *Kanbans* no sistema produtivo.

O ponto ótimo para esta medida de desempenho foi alcançado com um tamanho de lote para 7 produtos acabados. O percentual médio de *Kanbans* cheios para este tamanho de lote foi de 82 % e o estoque máximo foi de 3430 peças.

O estoque médio em processo seguiu a tendência das outras medidas de desempenho analisadas anteriormente, decresceu até o momento em que houve um aumento significativo da quantidade de *Kanbans* no sistema para o atendimento da demanda prevista. Este, foi influenciado também pela quantidade média de *Kanbans* cheios no sistema. Assim, a medida em que houve uma redução no percentual de *Kanbans* cheios, como pode ser verificado na Figura 4.7, houve também uma redução no estoque médio de peças no sistema.

Como podemos verificar no gráfico apresentado abaixo, o menor índice para o estoque médio de peças no cenário produtivo foi alcançado para um tamanho de lote para 6 produtos acabados. Após este ponto, o estoque volta a aumentar em função do aumento do número de *Kanbans* no sistema produtivo necessário para que não houvessem *Backorders*.

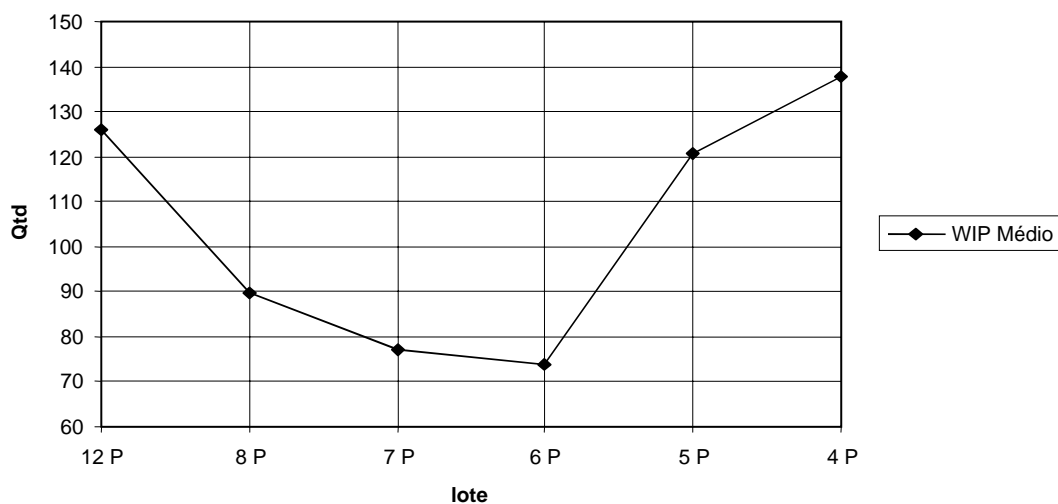


Figura 4.8. Estoque Médio em Processo

Outro ponto a ser estudado é a ocupação dos recursos produtivos. A variação da taxa de ocupação dos recursos produtivos para os diferentes tamanhos de lotes analisadas para este cenário estão apresentadas na Figura 4.9.

Pode-se verificar nos dados apresentados que, em função da redução dos tamanho dos lotes, ocorreu um aumento na taxa de ocupação dos recursos produtivos. Na medida em que o sistema estava operando com lotes menores, houve uma maior alternância dos tipos de peças a serem produzidos e conseqüentemente aumentou o número de vezes em que foram realizados setup.

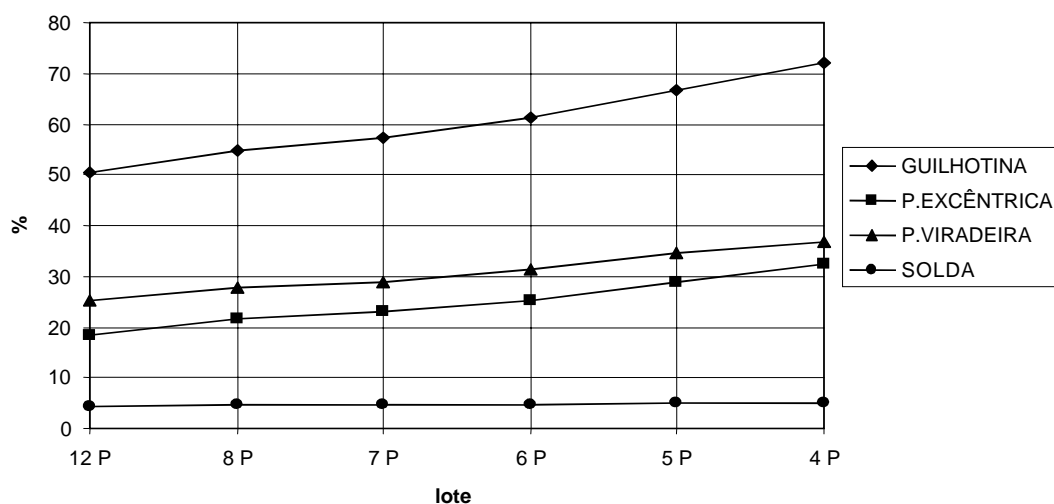


Figura 4.9. Ocupação Total dos Recursos

O mesmo acontece com o recurso gargalo onde o ponto de saturação do recurso ocorreu para um tamanho de lote equivalente a produção de 4 produtos acabados. Como pode-se verificar na Figura 4.10, o tempo de setup aumentou a medida em que o tamanho do lote foi sendo reduzido, enquanto o tempo de processamento permanece constante pois não houve mudança na demanda total do produto acabado.

A seguir serão apresentadas as considerações gerais para a seleção da faixa de operação do Sistema *Kanban* em um cenário com tempos de setup reduzidos que resultem em um melhor desempenho do sistema produtivo sob o ponto de vista da filosofia JIT.

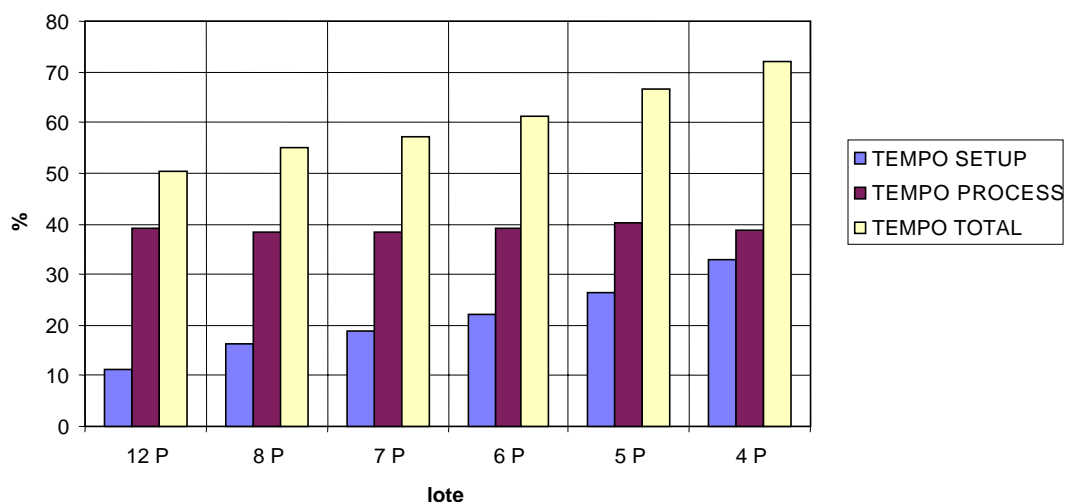


Figura 4.10. Ocupação Recurso Gargalo

4.3.2 Escolha da Faixa de Operação do Sistema Kanban

Da mesma forma como foi realizado para o cenário 1, foi obtido com a aplicação da metodologia um grupo de tamanhos de lotes e seus respectivos números de *Kanbans* para que sejam atingidas as metas propostas no plano mestre de produção sem que haja saturação do recurso gargalo. Baseado nestes dados, pode-se escolher a faixa que melhor alcance os objetivos das filosofia JIT neste cenário com uma redução de 70% dos tempos de setup em relação aos tempos reais.

Em todas as composições analisadas para este cenário a meta de atender a demanda do mercado consumidor foi atingida.

Analisando os dados obtidos através das simulações, conclui-se que existe um ponto ótimo para o *lead time* de produção. O tamanho de lote que obteve o menor índice foi o de 7 produtos acabados, onde o *lead time* médio foi de 168 min com 87 *Kanbans* no sistema. A partir deste ponto, a redução do tamanho do lote torna o sistema mais congestionado em função do aumento do número dos *Kanbans*, aumentando assim o *lead time* de produção. O mesmo aconteceu para o tempo médio de estocagem dos *Kanbans* nos supermercado.

Analisando juntamente estes dois índices, conclui-se que o tamanho de lote que possibilita o menor tempo do *Kanban* no sistema produtivo, desde o início da produção até o momento do consumo, foi o lote para produção de 7 produtos finais.

Em relação ao estoque em processo, o tamanho de lote que obteve a menor quantidade de peças no sistema produtivo foi o para produzir 6 produtos acabados. A quantidade média de peças para este tamanho de lote foi de 73 utilizando 102 *Kanbans*. O próximo tamanho de lote que obteve o menor estoque em processo foi o de 7 produtos acabados, que em média teve somente 4 peças a mais. Porém a quantidade de *Kanbans* em circulação no sistema foi de 87, isto é, aproximadamente 15% a menos que para o lote de 6 produtos, confirmando que em relação a quantidade de *Kanbans* em estoque a melhor alternativa foi para lotes capazes de produzir 7 produtos finais, pois operou com o menor índice de *Kanbans* cheios, 82%.

O último ponto analisado foi a taxa de ocupação dos recursos produtivos, em especial a ocupação do recurso gargalo, pois está diretamente ligada a quantidade de *setups* executados no sistema produtivo. Conforme foi sendo aplicada a redução do tamanho do lote, a ocupação dos recursos aumentou devido ao aumento do número de *setup*. Contudo pode-se verificar na Figura 4.10, que para produção de lotes de 7 produtos finais, o gargalo ficou com uma ocupação de 60%, taxa essa bastante aceitável.

Baseado nos comentários acima, conclui-se que a melhor alternativa de tamanho de lote, após a comparação dos dados obtidos, é a que possibilita a produção de 7 produtos finais, pois apresenta o menor tempo total de estocagem dos *Kanbans* no sistema, a menor quantidade de *Kanbans* cheios e opera com uma certa ociosidade do recurso gargalo.

4.4 Comparação do Desempenho da Empresa para os Cenários 1 e 2

Para alcançar o melhoramento contínuo com a redução dos desperdícios, o Sistema JIT tem como principal estratégia de produção a redução dos estoques. Para que esta meta seja alcançada devem ser utilizadas algumas das ferramentas JIT, como foi discutido no Capítulo 2.

Considerando que a metodologia, apresentada no Capítulo 3, para ajuste do sistema *Kanban*, foi aplicada para dois cenários diferentes no que se refere a tempos de setup, decidiu-se a partir da escolha da melhor alternativa para cada cenário, fazer uma comparação entre os respectivos resultados das medidas de desempenho.

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores obtidos para as medidas de desempenho em função dos tamanhos de lotes e números de *Kanbans* considerados como os mais adequados após a aplicação da metodologia para ajuste do sistema *Kanban* para os dois cenários produtivos.

Tabela 4.6. Comparação entre as Medidas de Desempenho para os Dois Cenários

MD	Tamanho do lote	Número de <i>Kanbans</i>	LT médio de Produção	Tempo Médio no Supermercado	LT Total de Produção	Estoque Médio	Ocupação Gargalo
Cenário 1	14	102	358	1340	1700	140	71
Cenário 2	7	87	168	731	900	77	55
Redução %	100	17	113	83	89	82	29

No cenário 1, utilizando os tempos de setup reais fornecidos pela Empresa, aplicando a metodologia chegou-se a um tamanho de lote suficiente para a produção de 14 produtos acabados com 102 *Kanbans* em circulação pelo sistema produtivo. O *lead time* total de produção para este cenário foi de 1700 minutos, onde 73% representa o tempo médio de estocagem nos supermercados. O estoque médio no sistema foi de 140 unidades, e o recurso gargalo teve uma ocupação média de 77%.

No cenário 2, os tempos de setup foram reduzidos em 70%, com base em trabalhos apresentados no Capítulo 2. Aplicando-se a metodologia proposta o tamanho de lote foi dimensionado para a produção de 7 produtos acabados com 87 *Kanbans* em circulação. O *lead time* total de produção passou a ser de 900 minutos, sendo que o *lead time* médio de produção representa em média 14% deste tempo, o restante é representado pelo tempo médio dos *Kanbans* nos supermercados. O estoque médio no sistema foi de 77 unidades, e o recurso gargalo teve uma ocupação de 55%.

Comparando os dois cenários, o tamanho do lote teve uma redução de 100% com a implantação da troca rápida de ferramenta, possibilitando também que o sistema operasse com um número menor de *Kanbans* em circulação. Com a redução do número de *Kanbans* em circulação em torno de 17%, o estoque médio obtido no cenário 2 teve uma redução em torno de 82% se comparado ao cenário 1. Cabe lembrar que a redução dos estoques no sistema leva a uma redução proporcional do espaço físico da fábrica necessário para operacionalizar uma determinada demanda.

Um dos benefícios mais importantes alcançados com a redução dos tempos de setup na ordem de 70%, foi que o *lead time* médio de produção teve uma redução em torno de 113%, devido principalmente a redução do tempo de operação. O *lead time* é responsável pela flexibilidade do sistema de produção à variação da demanda.

Um outro fator que deve ser analisado é a taxa de ocupação do recurso gargalo. Para atender o mesmo plano mestre de produção, o cenário com a redução de setup obteve um ganho de capacidade em torno de 29%. A ocupação do recurso gargalo passou a ser de 55%, ganhando-se com isto capacidade produtiva para incrementar a demanda caso necessário, ou ainda avaliar e tratar os problemas do sistema produtivo, tais como o sequenciamento da produção e a manutenção preventiva das máquinas.

Após a análise destes resultados pode-se confirmar a teoria apresentada pela filosofia JIT, de que se obtém ganhos de produtividades nos sistemas produtivos com a redução dos tamanhos de lotes para produção e movimentação e principalmente com a implantação da troca rápida de ferramentas.

A operação de pequenos lotes também facilita a identificação dos problemas dentro do sistema, tais como problemas com qualidade, espaço físico, transporte, etc.

Cabe ressaltar que nas condições atuais de operação do sistema *Kanban* pela Empresa em questão, as medidas de desempenho foram muito inferiores as obtidas com lotes para 14 unidades, conforma apresentado na seção 4.3.1, ressaltando a importância da metodologia aplicada para obtenção do tamanho do lote e o número de *Kanbans* adequados aos parâmetros do sistema produtivo.

No Capítulo seguinte serão apresentadas as considerações, limitações e sugestões resultantes da aplicação da metodologia desenvolvida por Danni [22] para o ajuste do sistema *Kanban* em um sistema real.

Capítulo 5

Considerações Finais e Recomendações

O mercado consumidor vem exigindo cada vez mais variedades de produtos que possuam qualidade, confiabilidade e preços adequados. Isto possui um reflexo direto nas linhas de produção das indústrias. Ciclos de vida de produtos cada vez mais curtos, exigências de aprimoramento e modernização constante de produtos e processos são algumas consequências que o mercado está impondo constantemente as indústrias. Além disso, a concorrência entre as empresas, a necessidade de tornar-se competitiva e com qualidade conduz a uma busca por soluções que tornem a produção eficiente, com uma relação de custo/benefício adequada. Nos dias atuais, a produtividade é o objetivo perseguido por todas as empresas como forma de tornar seus produtos competitivos e adequar seus custos de produção.

Este trabalho de dissertação teve por objetivo analisar a aplicação de uma metodologia de ajuste de parâmetros do cálculo do sistema *Kanban*, em concordância com os objetivos do JIT, usando como ferramenta a simulação computacional. Os resultados foram obtidos após a análise de medidas de desempenho obtidas durante a simulação de um sistema real de produção de porte médio para diferentes composições de tamanho de lote e número de kanbans.

A seguir são apresentadas as principais conclusões deste trabalho. Na parte final, são descritos alguns tópicos para trabalhos futuros envolvendo este tema.

5.1 Considerações Finais sobre os Resultados Obtidos

O estudo foi realizado através da aplicação da metodologia de ajuste do sistema *Kanban* desenvolvida por Danni [22] . Para a aplicação desta metodologia foi desenvolvido um modelo computacional que representasse a realidade da Empresa. Também utilizou-se este modelo para a análise das influências sofridas pelo sistema produtivo no momento em que as variáveis do sistema *Kanban* forem modificadas.

O modelo utilizado para a simulação foi composto por quatro lógicas independentes (processo produtivo, supermercados, quadro de *Kanban* e montagem final) que podem ser utilizadas posteriormente na modelagem de outros sistemas. Todo o fluxo e seqüenciamento dos materiais foi controlado pelo sistema *Kanban*.

Para a aplicação da metodologia partiu-se com os dados fornecidos pela Empresa, isto é, o tamanho e a quantidades de kanbans que a Empresa utilizava no momento da coleta de dados. O limite de redução do tamanho dos lotes foi indicado pelo falta de capacidade produtiva do recurso gargalo. Com o esgotamento da capacidade produtiva deste recurso, as composições de tamanho de lote e quantidade de kanbans foram analisadas através das medidas de desempenho obtidas durante a simulação. Com isso, obteve-se a faixa de operação com maiores benefícios sob a ótica da Filosofia JIT.

Dois cenários produtivos foram utilizados na aplicação da metodologia ao modelo computacional, um com os tempos de *setup* utilizados pela Empresa e um outro aplicando uma redução nos tempos de *setup* na ordem de 70%. Esta redução foi baseada nos

resultados obtidos por Shingo[9] . Ao fim destas simulações pôde-se confirmar as conclusões apresentadas por Danni [22] em seu trabalho.

Verificou-se o efeito da redução dos tempos de *setup* no sistema produtivo da Empresa. Com a implantação da troca rápida de ferramenta obteve-se uma redução em torno de 100% no tamanho do lote, o que possibilitou a operação do sistema produtivo com um menor número de kanbans em circulação. Esta redução se implantada proporcionará a Empresa a possibilidade de uma redução proporcional do espaço físico na fábrica.

Ainda sob a influência da redução dos tempos de *setup* cabe mencionar um fato muito importante ocorrido, a redução do *lead time* médio de produção. Ela é responsável pela flexibilidade do sistema produtivo frente à demanda do mercado. Todos estes pontos vem a confirmar que tempos de *setup* baixos é um requisito importante para que o sistema *Kanban* opere corretamente e que seja uma ferramenta de melhoria contínua do JIT.

Conforme Shingo [9] descreveu, “*que melhorias na operação individual dos recursos não implicam necessariamente em melhorias no processo*”, pode-se afirmar que apesar de se ter obtido ganhos significativos nos setores analisados, nada pode-se concluir com relação a fábrica que as melhorias realizadas em um subsistema do sistema produtivo não resultaram necessariamente em uma melhoria global no sistema produtivo. Isto pode ocorrer em função dos outros subsistemas não terem capacidade de acompanhar este ganho de eficiência.

A aplicação da metodologia de ajuste do sistema *Kanban* em uma situação real possibilitou a visualização destes fatos através do levantamento e análise das medidas de desempenho. Isto permitiu a realização de algumas interferências no sistema. Entretanto, não era objetivo deste trabalho o estudo de todas as características do JIT. A seguir são apresentadas algumas sugestão para trabalhos futuros que poderão melhorar os resultados obtidos neste trabalho.

5.2 Limitações deste Trabalho

Como se trata de um trabalho de projeto, pode-se afirmar que podem existir distorções entre a simulação e a realidade. Existem meios para se minimizar estas distorções, como análises estatísticas dos dados de saída e comparações com o sistema real.

Não foi o objetivo deste trabalho tratar de todos os detalhes que envolvem um sistema de produção Just in Time. Os aspectos tratados e analisados aqui se restringiram àqueles julgados principais para o caso estudado. Outros parâmetros não tratados neste trabalho compreendem:

- I dificuldade para obtenção dos dados, tais como tempos de setup e produção, características dos recursos disponíveis, volumes de estoque, disponibilidade de recursos internos da Empresa para a realização da coleta de dados em função da Empresa não ter muito interesse na aplicação do trabalho em questão, principalmente por se tratar de um estudo a nível acadêmico.
- I tempos de manutenção de máquinas (por estarem incorporados no cálculo do tempo padrão de fabricação); Conseqüentemente, os efeitos da manutenção preventiva e produtiva total sobre o sistema não foram considerados;
- I como as máquinas utilizadas na empresa são pequenas e próximas, não se considerou o tempo de movimentação de materiais entre máquinas. Este tempo é muito pequeno, e a tarefa é feita por pessoa especialmente dedicada a isso;
- I outros aspectos intangíveis são também determinantes para o funcionamento do sistema de produção. Alguns deles são a motivação e multifuncionalidade dos operadores, treinamento, respeito às pessoas e principalmente comprometimento total da administração, fatores difíceis, ou até impossíveis de modelar para análise.

5.3 Sugestões de Trabalhos Futuros

No decorrer deste trabalho surgiram alguns pontos que despertaram o interesse por estudos mais profundos. Além disso, existem outros pontos que não foram tratados, e que podem ser objetos de futuros trabalhos. Estes pontos estão relacionados abaixo.

- I As empresas muitas vezes estão dispostas a investir na modernização de seus processos, desde que propiciem uma maior eficiência. Por exemplo, poderia se utilizar ferramentas de programação e de simulação para desenvolver uma ferramenta de *Kanban* eletrônico que possa ser integrado ao sistema de planejamento e controle de estoque utilizado pela empresa. Esta ferramenta seria utilizada para abastecimento das linhas de montagem com o objetivo de minimizar o estoque de materiais, manter o estoque disponível no sistema atualizado on-line e redução do tempo gasto com requisições e movimentação de materiais.
- I Criar interfaces mais amigáveis para os usuários, para que esse possa usar da melhor maneira os resultados obtidos pela simulação de ajuste do sistema *Kanban*.
- I Aprofundar estudos sobre a implementação de transmissão eletrônica de dados, para que seja possível implementar a ferramenta de *Kanban* eletrônico com os fornecedores.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. Skinner. Manufacturing - the missing link in corporate strategy. *Harvard Business Review*, page 156, May/June 1969.
- [2] R. Hayes; S. Wheelright. *Restoring our Competitive Edge: Competing through Manufacturing*. John Willey, New York, 1984.
- [3] W. Skinner. *Manufacturing: The Formidable Competitive Wapon*. John Willey, New York, 1985.
- [4] K. E. Wichmann. Simulation-based production schedule generation. *Production Planning and Control*, 1(3):179–189, 1990.
- [5] R. J. Schonberger. The japanese just-in-time / total quality control production system: Potencial for developing countries. *Int. Journal of Producion Research*, 22(3):421–430, 1994.
- [6] R. J. Schonberger; A. Ansari. Just-in-time purchasing can improve quality. *Journal of Purchasing and Material Management*, pages 2–7, Spring 1984.
- [7] Y. Monden. What makes the toyota production system really tick? *Industrial Engineering*, 13:36, 1985.
- [8] K. Gottesman. Jit manufacturing is more than inventory programs and delivery schedules. *Industrial Engineer*, pages 19–20,58, May 1991.
- [9] S. Shingo. *O Sistema Toyota de Producao do Ponto de Vista da Engenharia de Producao*. Artes Medicas, Porto Alegre, 1996.
- [10] J. Costanza; D. R. Wagner. *Just-in-Time Manufacturing Excellence: The Guide for the Survival of American Manufacturing*. Constanza and Wagner, 1986.
- [11] J. T. Black. *O Projeto da Fabrica do Futuro*. Artes Medicas, Porto Alegre, 1998.
- [12] IMAM Treinamento E Consultoria. Pesquisa sobre o desempenho da industria brasileira - versao 1996. *Qualidade e Produtividade*, 36:2–3, Abril 1996.
- [13] David Stockton. Developing the sequence. *Manufacturing Engineer*, pages 71–74, 1994.
- [14] Edward J. Hay. *The Just-in-Time Breakthrough: Implementing the New Manufacturing Basics*. John Wiley and Sons, Inc, 1988.
- [15] J. Antunes; F. Neto; J. Fensterseifer. Consideracoes criticas sobre a evolucao das filosofias de adminisracao de producao. *Revista Administracao de Empresas*, 29(3):49–64, 1989.
- [16] *Proceedings of The 1994 Winter Simulation Conference*, Buena Vista, USA, December 1994. IEEE.
- [17] *Proceedings of The 1995 Winter Simulation Conference*, Arlington, USA, December 1995. IEEE.
- [18] Y. Monden. *Sistema Toyota de Producao*. IMAM, Sao Paulo, 1984.
- [19] I. Gianese; H. Correa. *Just-in-Time, MRP II e OPT: um enfoque estrategico*. Atlas, Sao Paulo, 1993.
- [20] J. Browne; J. Harhen; J. Shivnan. *Produciton Management Systems: an Integrated*

- Perspective*. Addison-Wesley, Harlow, England, 1996.
- [21] D. F. Tubino. *Manual de Planejamento e Controle de Producao*. Atlas, Sao Paulo, 1997.
 - [22] T. S. Danni. Ajuste e estudo do sistema kanban auxiliado pela simulacao computacional. Master's thesis, Engenharia de Producao, UFSC, Junho 1997.
 - [23] Y. D. Golhar; C. L. Stamm. The just-in-time philosophy: A literature review. *Int. Journal of Production Research*, 29(4):657–676, 1991.
 - [24] L. P. Rees; P. R. Philipoom; B. W. Taylor III; P. Y. Huang. Dynamically adjusting the number of kanbans in a just-in-time production system using estimated value of lead-time. *IEEE Transactions*, 19(2):199–207, June 1987.
 - [25] K. Takanashi; N. Nakamura; K. Ohashi. Order release in jit production systems: A simulation study. *Simulation*, 66(2):75–87, February 1996.
 - [26] A. Chuaddhury; A. B. Whinston. Towards an adaptative kanban system. *International Journal of Operation Research*, 28(3):437–458, 1990.
 - [27] H. Aytug; A. A. Dogan; G. Bezmez. Determining the number of kanbans: A simulation metamodeling approach. *Simulation*, 67(1):23–32, July 1996.
 - [28] C. Changchit; H. Kung. Effect of learning in jit production system: a simulation experiment in microcomputer. *Computer and Industrial Engineering*, 15:172–178, 1988.
 - [29] C. Chu; W. Shih. Simulation studies in jit production. *International Journal of Production Research*, 30(11):2573–2586, 1992.
 - [30] J. F. Bard; B. Golany. Determining the number of kanbans in a multiproduct. multistage production system. *International Journal of Operation Research*, 29(5):881–895, 1991.
 - [31] H. Wang; B. H. Wang. Determining the number of kanbans: a step toward non-stock-production. *International Journal of Operation Research*, 28(11):2101–2115, 1990.
 - [32] A. Li; H. C. Co. A dynamic programming model for the kanban assignment problem in a multistage multiperiod production system. *Internation Journal of Operation Research*, 29(1):1–16, 1991.
 - [33] T. Furukawa; S. Hong. The determination of the optimal number of kanbans in a just-in-time production system. *Computer and Industrial Engineering*, 24:551–559, 1993.
 - [34] Y. Yanagawa; S. Miyasaki; H. Ohta. An optimal operation planning for the fixed quantity withdraw kanban system with variable leadtimes. *Int. Journal of Production Economics*, 33:163–168, 1994.
 - [35] P.R. Philipoom; L.P. Rees; B.W. Taylor; P.Y.A. Huang. A mathematical programming approach for determining workcentre lotsize in a just-in-time system with signal kanban. *International Journal of Operation Research*, 28(1):1–15, 1990.
 - [36] P. Y. Huang; L. P. Rees; B. W. Taylor III. A simulation analysis of the japanese just-in-time tecnique (with kanbans) for a multiline, multistage production system. *Decision Science*, 14:326–344, 1983.
 - [37] R. Uzsoy; L. A. Martin-Vega. Modelling kanban-based demand-pull systems: A survey and critique. *Manufacturing Review*, 3(3):155–160, September 1990.
 - [38] D. F. Tubino; T. S. Danni. Uma proposta de sistema de avaliacao operacional no ambiente

- jit. *Maquinas e Metais*, 378:120–130, Julho 1997.
- [39] J. Lessner. Performance measure in a jit enviroment: Can tradicional performance measurements still be used. *Journal of Cost Management*, Fall 1989.
 - [40] M. Savsar; A. Al-Jawini. Simulation analysis of just-in-time production systems. *Int. Journal of Production Economics*, 42:67–78, 1995.
 - [41] M. Di Mascolo. Analisis of a synchronization station for the performance evaluation of a kanban system with a general arrival process of demands. *European Journal of Operation Research*, 89:147–163, 1996.
 - [42] K. Farahmand; B. Heemsbergen. Floor inventory of a kanban production system. In *Proceedings of The 1994 Winter Simulation Conference* [16] , pages 1027–1034.
 - [43] D. C. Pedgen; R. E. Shannon; R. P. Sadowski. *Introduction of Simulation using Siman*. McGraw-Hill, New Jersey, second edition, 1995.
 - [44] A. F. Seila. Introduction to simulation. In *Proceedings of The 1995 Winter Simulation Conference* [17] , pages 7–15.
 - [45] D. M. Profozich; D. T. Sturrock. Introduction to siman/cinema. In *Proceedings of The 1995 Winter Simulation Conference* [17] , pages 515–518.
 - [46] J. E. Hammann; N. A. Marcovitch. Introduction to arena. In *Proceedings of The 1995 Winter Simulation Conference* [17] , pages 519–523.
 - [47] A. S. Souza; M. A. Silveira; M. S. Pontes. Simulacao no contexto de problemas mal estruturados: Sim e possivel. *MM*, pages 129–135, Marco 1995.
 - [48] Stubitz S. J. Davis, J. W. Configuring a kanban system using a discrete optimization of multiple stochastic reponses. *International Journal of Operation Research*, 25(5):721–740, 1987.

APÊNDICE A Dados do Kanban

Código do Item	Número de Kanbans	Tamanho do Kanban
01	3	100
02	3	40
03	4	50
04	3	40
05	4	50
06	5	40
07	2	150
08	3	150
09	2	600
10	2	600
11	3	50
12	3	130
13	3	150
14	3	150
15	2	200
16	2	50
17	5	20
18	3	20
19	2	30
20	4	20
21	3	35
22	4	30
23	3	50
24	3	50
25	2	75
26	2	150
27	2	50
28	2	50
29	3	50
30	3	80
31	3	150
32	3	60
33	3	90
34	2	5000
35	3	130
40	3	100
41	3	20
42	3	20
43	3	60
44	3	90